Vorträge.

Beiträge zur Theorie der Respiration.

Von Wilhelm Müller aus Erlangen.

(Vorgelegt in der Sitzung vom 7. October 1858 vom Hrn. Prof. Ludwig.)

Die bisher gangbaren Annahmen über das Verhalten von Sauerstoff und Kohlensäure im Blut bei dem Respirationsprocess haben in der letzten Zeit eine wesentliche Berichtigung erfahren. Während man früher ziemlich allgemein annahm, dass der Sauerstoff im Blute einfach absorbirt enthalten sei, und für die Kohlensäure die Beobachtungen an Lösungen doppelt kohlensaurer Salze, die Annahme einer chemischen Verbindung wahrscheinlich machten, stellte Lothar Meyer[1]), gestützt auf genaue Untersuchungen, den Satz auf: dass die Sauerstoff-Aufnahme im Blut nur zum geringsten Theil vom Druck dieses Gases, unter dem es mit dem Blute in Berührung kommt, abhängt, dass dieselbe vielmehr durch eine wenngleich schwache chemische Attraction bewirkt wird, während die Aufnahme und Ausgabe der Kohlensäure als ein einfacher Absorptionsvorgang erscheint.

Für die Theorie der Respiration war es wichtig, die Meyer'schen Versuche auf das lebende Blut zu übertragen, und auf dem Wege des Experiments zu prüfen, ob bei der Athmung die von ihm aufgestellte Beziehung zwischen dem Blut einerseits und Sauerstoff und Kohlensäure andererseits wirklich volle Geltung hat. Ich versuchte diese Frage durch eine Reihe von Untersuchungen, welche ich im physiologischen Institut der k. k. Josephs-Akademie anstellte, ihrer Lösung näher zu bringen, und freue mich, dem Vorstande dieses Instituts, Herrn Professor Ludwig, für die aufs liberalste

[1]) Lothar Meyer, die Gase des Blutes, Inauguraldissert. Göttingen, 1857. Zeitschr. für nat. Med. Bd.

gestattete Benützung der gebotenen Hilfsmittel hiemit öffentlich meinen Dank aussprechen zu können.

Um bei der Erörterung der vorliegenden Frage die möglichste Genauigkeit einzuhalten, war es nothwendig, den Respirationsversuch mit dem physicalischen Absorptionsversuch möglichst in Übereinstimmung zu bringen. Dies schloss von vornherein die Berührung der angewandten Gase mit allen anderen Flächen des Thierkörpers ausser der Lungenfläche aus. Um letztere aber allein mit den Gasen in Berührung zu bringen, musste von den bisher bei Respirationsversuchen angewandten Methoden Umgang genommen werden, da sie diesen Zweck auf eine einfache und leicht zu handhabende Manier zu erreichen nicht gestatten.

Es liess sich dieser Forderung jedoch genügen dadurch, dass die Luftröhre des zu untersuchenden Thieres geöffnet und mit einer vollkommen luftdicht eingebundenen Canule versehen wurde. Die Operation der Tracheotomie lässt sich an allen Thieren sehr leicht und ohne irgend welchen bemerkenswerthen Blutverlust ausführen; die Wunde selbst ist nur sehr klein, so dass kein Grund zu der Annahme gegeben ist, dass durch diesen Eingriff eine nachweisbare Alteration im Befinden des Thieres verursacht werde.

Die Canule fertigt man aus einer Glasröhre, indem man sie an einer Stelle mässig auszieht und hierauf etwa vier bis sechs Millimeter über der Verengerung abschneidet. Man schleift sodann das abgeschnittene Ende schief zu, um die Einführung zu erleichtern, während der engere in Form eines Halses ausgezogene Theil dazu dient, dem Faden beim Einbinden einen möglichst festen unverrückbaren Halt zu geben. Man kann natürlich dieser Canule jede beliebige Form geben und durch Ausblasen verschiedene Sicherheitsvorrichtungen nach Bedarf an derselben anbringen. Für die nachfolgenden Versuche war sie einfach rechtwinklig gebogen und wurde nach der Einführung an ihrem freien Ende mit den nöthigen Apparaten in Verbindung gesetzt.

Nächstdem erforderten die Versuche eine möglichst vollkommene Mischung der angewandten Gase. Ich hoffte sie in einigen zu diesem Zweck angestellten Vorversuchen einfach dadurch zu erreichen, dass ich die Tracheacanule durch einen Kautschukschlauch der durch Imprägniren mit heissem Fett luftdicht gemacht worden war, geradezu mit dem als Athmungsraum dienenden Behälter in

Verbindung setzte. Allein es zeigte sich, dass die Athembewegungen des Thieres allein nicht hinreichen, die verdorbene und die zum Athmen noch brauchbare Luft hinreichend zu mischen; es stellten sich jedesmal auch bei grossem Athmungsraume in unverhältnissmässig kurzer Zeit alle Erscheinungen der beginnenden Erstickung ein.

Es musste daher auf andere Mittel gedacht werden, um die möglichst vollkommene Mischung der Athemluft zu erzielen. Dies wurde auf folgende Weise erreicht. Das freie Ende der in die Trachea eingebundenen Canule wurde mit einer gabelig sich theilenden Röhre von Metall luftdicht verbunden. Jedes der beiden Enden dieser Röhre wurde mit einem Ventil verbunden, welches der Luft nur nach einer Richtung den Durchgang gestattete. Diese Ventile waren nach Art der Spritzflaschen construirt. Sie bestanden aus kleinen cylindrischen Gläschen von etwa 15 C.C. Inhalt, welche einen engeren gleichfalls cylindrischen Hals hatten. In diesen Hals wurde ein gut schliessender Kork eingepasst, welcher doppelt durchbohrt war. In jede der Öffnungen passte genau der absteigende Schenkel einer rechtwinklig gebogenen Glasröhre. Der eine dieser beiden Schenkel hatte annähernd die Länge des engen Halses, während der andere unmittelbar unter der untern Fläche des Korks abgeschnitten war. Nachdem der Kork und beide Glasröhren durch Siegellack vollkommen luftdicht mit dem Gläschen verbunden waren, wurde letzteres so weit mit Quecksilber gefüllt, bis die tiefere Röhre mit ihrem Ende in dasselbe eintauchte. Indem beide Gläschen in umgekehrter Stellung mit dem gabelförmigen Metallrohr in Verbindung gesetzt wurden, bedingten sie einen Luftstrom nach entgegengesetzten Richtungen, so dass auf diese sehr einfache Weise die In- und Exspirationsluft unmittelbar vor der Tracheacanule geschieden wurden, während die möglichst vollkommene Gasmischung im Athmungsraum selbst durch eine passende Vorrichtung sich erreichen liess. Es ist sehr wichtig, die längere Röhre nicht tiefer als höchstens 1—2 Millimeter in Quecksilber tauchen zu lassen, indem dies für den vollkommenen Abschluss nach einer Richtung hinreicht. Schon diese geringe Quecksilberhöhe führt ein Hinderniss ein, welches das Thier zu überwältigen hat und welches bei ungünstigen Umständen eine merkliche Ermüdung zu Folge haben kann. Für ein gesundes Thier und die kurze Dauer eines einzelnen Versuchs ist dieser Einfluss natürlich verschwindend klein; er könnte

dagegen sehr merklich werden bei schwächlichen Thieren und bei öfterem Experimentiren an demselben Thiere.

Für die in Rede stehenden Versuche war aber dritte Bedingung die Kenntniss des vorhandenen Partiardrucks der angewandten Gase. Diese Bedingung war erfüllt, wenn Luft von bekannter Zusammensetzung und bekanntem Drucke im abgeschlossenen Raume mit der Lungenfläche in Berührung gebracht wurde.

Da wir wissen, dass bei Pflanzenfressern in den Geweben sich aller oder doch nahezu aller eingeathmete Sauerstoff in Kohlensäure verwandelt, so muss die abgeschlossene Luft in ihrer Zusammensetzung durch den Athemprocess in der Weise sich ändern, dass mit dem Sinken des Partiardrucks vom Sauerstoff eine Erhöhung des Partiardrucks der Kohlensäure stattfindet. Würden auch noch Spuren von Sauerstoff hinreichen, das Leben zu unterhalten, so müsste, die Geltung des Meyer'schen Satzes angenommen, letzterer vollständig aus dem Athmungsraum verschwinden. Dies ist aber erfahrungsgemäss nicht der Fall. Wir müssen demnach das Leben betrachten als eine Function von der Geschwindigkeit des Sauerstoffeintritts in das Blut, und letztere ist offenbar abhängig von der Dichtigkeit des Sauerstoffs im Athmungsraum insofern, als ein Sinken derselben unter eine gewisse Grenze die Aufnahme der zur Erhaltung des Lebens nothwendigen Menge in der Zeiteinheit nicht mehr gestattet; dabei ist aber zu bedenken, dass das Leben nicht momentan zu Grunde geht, wenn der Sauerstoffgehalt des Blutes oder des Athmungsraums unter einen gewissen Werth herabsinkt, weil die thierischen Gewebe stets noch eine gewisse Menge disponiblen Sauerstoffs enthalten, welche ihre Lebensäusserungen für kurze Zeit zu erhalten im Stande ist. Genügt nun diese Zeit, um während derselben alle Luft des Athmungsraumes, wenn sie die zum Leben nothwendige Sauerstoffmenge auch nicht mehr besitzt, bei gegebener Athemfolge und Athemtiefe mit dem Blut in Berührung zu bringen, so ist die Möglichkeit vorhanden, dass aller Sauerstoff aus dem Athmungsraume verschwindet, während im andern Fall nur ein Herabsinken seines Werthes bis zu einer gewissen Grösse zur Beobachtung kommen kann.

Einen sehr wichtigen Einfluss müssen nach dem eben Erörterten auf letztere Grösse haben einmal die Grösse des Athmungsraumes und zweitens die allenfallsige Ermüdung des Thieres.

Der Einfluss von beiden springt in die Augen. Je grösser das Volum der zur Erhaltung des Lebens untauglichen Luft, um so weniger wird das Thier im Stande sein, sie noch vollständig durch seine Lunge zu treiben; je grösser die Ermüdung, um so unvollkommener werden die Athemzüge und damit um so kleiner die Berührungsfläche zwischen Luft und Blut. Endlich kommt für die in Rede stehende Untersuchung noch in Betracht der Partiardruck der gebildeten Kohlensäure im Luftraum. Bei gegebenem Sauerstoffvolum ist er, die Richtigkeit des Meyer'schen Satzes auch für die Kohlensäure angenommen, da der Sauerstoff sich innerhalb der Beobachtungsfehler vollständig in Kohlensäure umsetzt, abhängig von dem der gebildeten Kohlensäure (des verschwundenen Sauerstoffes) zur jeweiligen Kohlensäurespannung im Blute. Letztere ist aber, wie wir durch die Versuche von Vierordt[1]) und Becher[2]) wissen, nach Zeit und Umständen eine variable; dasselbe wird mithin bei gleichem Sauerstoffvolum für den Athmungsraum der Fall sein müssen. Eine nothwendige Consequenz der Annahme, dass die Kohlensäure einfach dem Absorptionsgesetze gehorcht, ist ferner, dass die Kohlensäurespannung im Blute steigen muss, wenn bei fortlaufender Neubildung ihr Austritt aus dem Blute durch einen entsprechenden Druck in der äusseren Luft gehindert wird, dass endlich Kohlensäure aus dieser in das Blut übertritt, wenn der Partiardruck der Kohlensäure in der Luft den im Blute überwiegt.

In wie weit diese Folgerungen durch den Versuch bestätigt wurden, zeigen die sogleich mitzutheilenden Resultate. Es erübrigt nur noch, vorher über die Versuchsmethode und über die Ausführung das Nöthige mitzutheilen.

Als Athmungsraum dienten cylindrische Gläser oder Flaschen von verschiedenem Rauminhalt. Der Hals tauchte in das als Sperrflüssigkeit dienende Quecksilber. Der Boden des Gefässes wurde mit zwei Öffnungen durchbohrt und in jede dieser Öffnungen eine Glasröhre möglichst genau eingeschlossen und eingekittet; die Verbindungsstelle überdies äusserlich mit Siegellack umgeben. Das ausserhalb des Gefässes befindliche Ende der Glasröhre war wie bei den Ventilen rechtwinklig gebogen und wurde mit den Ventil-

---

[1]) Physiologie des Athems. Karlsruhe, 1845.

[2]) Studien über Respiration. Züricher Mittheilungen. 1853.

röhren durch Kautschuk luftdicht verbunden. Die in das Gefäss selbst einmündenden Enden der Röhren hatten, um eine möglichst vollkommene Luftmischung zu erzielen, eine ungleiche Länge. Die Röhre, welche die Exspirationsluft in das Gefäss leitete, mündete über dem Halse aus, während die andere, durch welche das Thier frische Luft einzog, kurz unter dem Boden des Gefässes abgeschnitten war. Das Gefäss wurde durch einen passenden Halter senkrecht im Quecksilber gehalten. Einmal durch die ungleiche Länge der beiden Röhren, dann aber durch die mit den Raumveränderungen der Luft im Gefäss bei In- und Exspiration synchronisch stattfindenden Schwankungen des Quecksilberspiegels wurde eine vollständige Mischung der Luft dieses Raumes erzielt. Ist das Gefäss nicht zu dick in seiner Wandung, so ist es leicht, dasselbe so tief in das Quecksilber einzutauchen, dass es darauf gleichsam schwimmt; es erwächst daraus der Vortheil, dass das Gefäss selbst durch abwechselnde Hebungen und Senkungen den Veränderungen des Luftvolums folgt, so dass das Thier keine irgend nennenswerthen Anstrengungen beim Athmen zu machen braucht.

Der Rauminhalt der Gefässe wurde natürlich vor den Versuchen festgestellt. Durch die Verbindungsschläuche, so wie durch die beiden Ventile war allerdings eine kleine Ungenauigkeit in die Berechnung des Luftraumes eingeführt. Für das relative Verhältniss der Gase war diese vollkommen gleichgiltig. Bei den Bestimmungen der absoluten Mengen konnte sie aber vernachlässigt werden, da der Athmungsraum so gross genommen wurde, dass diese Ungenauigkeit keinen messbaren Fehler in der Berechnung herbeiführen konnte. Zu den letzteren Bestimmungen diente eine cylindrische Flasche mit langem konischen Halse, der mit Theilstrichen versehen war, welche je 5 CC. entsprechen.

Diese Vorrichtungen wurden zu jedem Versuche vollständig zusammengestellt, die Kautschukverbindungen nach Art der Elementaranalyse mit Seidenfäden befestigt und das Ganze auf luftdichten Schluss geprüft. Die Luft im Gefäss wurde durch einige Tropfen Wasser mit Wasserdampf gesättigt, das Gefäss senkrecht in Quecksilber gestellt und das Volum aus der Entfernung abgelesen. Hierauf wurde dem Thiere die Trachea geöffnet, die Canule luftdicht eingebunden und das Thier an den Apparat gebracht. Zur bestimmten Zeit wurde das Metallrohr mittelst eines dickwandigen Kautschuk-

rohrs mit der Canule in Verbindung gesetzt und das Thier athmen gelassen.

Nach Beendigung des Versuchs wurden die beiden den Athmungsraum mit den Ventilen verbindenden Kautschukröhren durch Klemmen rasch abgeschlossen, wie sie Lothar Meyer für ähnliche Zwecke benützte. Das Glas wurde hierauf wieder senkrecht in das Quecksilber gestellt, so dass der Spiegel innen und aussen in gleichem Niveau stand, und mindestens 15 Minuten gewartet, um die Temperatur der enthaltenen Luft mit der umgebenden möglichst zur Ausgleichung kommen zu lassen, hierauf die Ablesung nach dem Versuch vorgenommen. Die Differenz der beiden Volumen bei gleicher Temperatur und gleichem Druck ergab die Menge des verschwundenen Gases.

Ist dies Alles mit der gehörigen Vorsicht beendigt, so gelingt es leicht, Proben von der rückständigen Luft in Absorptionsröhren überzufüllen und dann nach den bekannten Methoden der Gasanalyse weiter zu untersuchen. Die einzige Abweichung von den in Bunsens Abhandlung ausführlich erörterten Methoden, welche bei den nachstehen Analysen nöthig war, erheischte die Erzielung einer möglichst gleichmässigen Temperatur, indem zur Ausführung der Analysen kein eigenes Zimmer zu Gebote stand. Zu diesem Ende wurde ein grosser viereckiger eiserner Behälter construirt, der auf einem 1′ hohen hölzernen Tisch mit Rollen ruhte. Die beiden breiteren Seiten dieses Behälters hatten je ein zwei Drittheile der Breite einnehmendes Fenster von Spiegelglas, welches so weit herabreichte, um die in den Behälter versenkte Wanne mit den Messinstrumenten etc. soweit als nöthig sichtbar zu lassen, und von denen eines eine Centimetertheilung trägt. In diesen Behälter, der in entsprechender Höhe mit Wasser gefüllt wurde, wurde die gleichfalls eiserne Quecksilberwanne so oft als nöthig mittelst einer an der Decke und der Seitenwand des Zimmers angebrachten Rollenvorrichtung eingesenkt. Die Ablesung konnte an den im Behälter befindlichen Instrumenten ohne alle Schwierigkeit mittelst des Fernrohrs vorgenommen werden. Die Gase in den Messröhren hatten bei dieser Vorrichtung stets in spätestens einer Viertelstunde ihre Temperatur mit der des umgebenden Wassers vollständig ausgeglichen. Der Stand des Wasserspiegels im Behälter über dem Quecksilberniveau der Wanne konnte an der eingeätzten Centimeterscala des Fensters abgelesen

werden; auf Quecksilberdruck bei 0° reducirt und zu dem jeweiligen Barometerstand addirt gab er den Druck, unter welchem das Gas gemessen wurde.

Von der zu Gebote stehenden Luft wurden, soweit es Zeit und Raum gestatteten, Doppelanalysen ausgeführt, die wo möglich verschiedenen Tiefen des Gefässes entnommen waren. Die mitzutheilenden Zahlen zeigen, dass auch bei einzelnen Analysen die gefundene und die wahre Zusammensetzung der Luft sich höchstens innerhalb der unvermeidlichen Fehlergrenzen unterscheiden kann.

Die Versuchsreihe, welche ich zuerst mittheilen werde, bezieht sich hauptsächlich auf das Verhalten des Sauerstoffs und auf die Grenze, bis zu welcher er in einem gegebenen Luftvolum durch den Athmungsprocess herabgedrückt werden kann. Es sind diese Versuche dem Principe nach nicht neu; Berthollet[1]), Schübler[2]), Legallois[3]), Allen und Pepys[4]) und in jüngster Zeit Bernard[5]) haben sich mit dieser Frage beschäftigt. Eine Prüfung und Bestätigung der von diesen Forschern gewonnenen Resultate war wünschenswerth, wegen der weniger vollkommenen analytischen Hilfsmittel der früheren Zeiten; die Versuche Bernard's, bieten leider sowohl hinsichtlich der Methode als hinsichtlich der Ausführung der Analysen zu wenig Garantien für ihre Zuverlässigkeit, als dass sie eine experimentelle Prüfung für überflüssig könnte erscheinen lassen.

Die Erscheinungen, welche die Thiere bei diesen Versuchen darboten, waren stets dieselben und nur der Zeit nach verschieden je nach der Grösse des Athmungsraumes. Die Thiere athmeten anfangs eben so ruhig fort wie in atmosphärischer Luft; nach einiger Zeit wurden sie unruhig und die Respiration häufiger; diese Unruhe wurde bald von convulsivischen Bewegungen der Respirations- und Extremitätenmuskeln gefolgt. Sobald diese eintraten, wurden die sichtbaren Schleimhäute mehr und mehr bläulich, zugleich nehmen die Athembeschwerden mehr und mehr an Intensität zu und mit ihnen die allgemeinen klonischen Krämpfe, bis letztere die höchste Höhe erreicht hatten, worauf die Respiration immer langsamer, aussetzen-

---

[1]) Schweigger's Journal. Band I.
[2]) Schweigger's Journal. Band II, p. 297.
[3]) Annales de chimie et physique. Bd. IV, p. 162.
[4]) Schweigger's Journal. Band I, p. 182.
[5]) Lecons sur les effets des substances toxiques. Par M. Claude-Bernard, Paris 1857.

der wurde, bis sie endlich ganz aufhörte zugleich mit dem Verschwinden des Herzschlags und der Reflexe bei Berührung der Cornea. Sobald dieser Zeitpunkt eingetreten war, wurden die Kautschukröhren, welche die beiden Ventile mit dem Athmungsraum verbanden, durch die oben angegebenen Klemmen rasch abgeschlossen, hierauf die Verbindung des Apparats der Tracheacanule unterbrochen und versucht, durch künstliche Respiration das Thier wieder zum Leben zu bringen. Bei einiger Übung gelingt letzteres fast ohne Ausnahme, wie Bernard ganz richtig angibt, indem zuerst an den Muskeln des Halses einzelne Bewegungen sichtbar werden, die sich in Form leichter Zuckungen weiter verbreiten und der Herzschlag fühlbarer wird, worauf dann erst langsamer, dann immer rascher erfolgende Athemzüge sich einstellen, die sich in kurzer Zeit von normalen Athembewegungen in nichts mehr unterscheiden.

Bei allen diesen Versuchen beobachtet man keine wesentliche Verminderung des Luftvolums, eine von fast allen Beobachtern constatirte Thatsache. Der schädliche Einfluss auf die Leichtigkeit der Athmung, den diese Verminderung ausüben könnte, muss natürlich eliminirt werden entweder durch Nachgiessen von Quecksilber in das als Wanne dienende Gefäss, in welches der Luftbehälter gesetzt wird, oder dadurch, dass man letzterem von vorne herein eine solche Stellung gibt, dass er durch sein eigenes Gewicht bei eintretender Verkleinerung des Athmungsraums tiefer in das Quecksilber eintaucht.

Der Inhalt des Luftraums hatte im Anfang aller nachstehenden Versuche die Zusammensetzung der atmosphärischen Luft. Das Übrige wird bei den einzelnen Versuchen angegeben werden.

Versuch 1. 25. Februar 1858.

Erwachsenes Kaninchen, im abgeschlossenen Raume von 125 CC. athmend bis zu heftigen Suffocationszufällen. Dauer des Versuchs 4 Minuten. Die Analyse der Endluft gibt folgende Resultate:

Absorptionsrohr I.	Volum	Druck	°C.	Vol. b. 0°C. u. 1 M.
Anfangsvolum	174·35	682·96	11·6	114·23 [1])
Mit ClCa getrocknet . . .	176·68	685·14	15·4	114·55
Nach Absorption der CO_2 .	159·52	667·76	8·4	103·83

[1]) Die Correctionen des Meniscus, der Calibrirungstabelle, des Drucks etc. sind in den Zahlen schon enthalten; die Anfangsvolumen in den Absorptionsröhren sind als trockenes Gas berechnet.

	Volum	Druck	°C.	Vol. b. 0°C. u. 1M.
Absorptionsrohr IV.				
Anfangsvolum	116·7	730·77	11·6	81·89
Mit ClCa getrocknet . . .	118·4	738·30	15·4	82·70
Nach Absorption der CO_2 .	197·3	716·41	8·4	74·57
Eudiometer I.				
Anfangsvolum	144·096	506·43	9·8	70·44
Nach Zusatz von Wasserstoff	283·764	639·89	8·8	175·91
Nach Zusatz von Knallgas .	359·4	702·41	13·1	240·90
Nach der Explosion	286·19	627·159	15	170·15

Die Zusammensetzung der Luft ist:

	I	II	Mittel
CO_2	9·79	9·83	9·81%
O	—	2·45	2·45 „
N	—	87·72	87·74 „

Das Thier wurde hierauf mit einem reines Sauerstoffgas enthaltenen Luftraum von etwa 300 CC. in Verbindung gesetzt. Es erholte sich hier sehr rasch und brachte etwa ²/₅ der enthaltenen Luft zum Verschwinden. Der Versuch musste sodann wegen eines Fehlers am Apparat unterbrochen werden. Das Thier wurde kurze Zeit an freier Luft athmen gelassen und hierauf neuerdings mit dem vorigen Raum, dessen Luft erneuert war, in Verbindung gesetzt, bis es vollständig erstickte, was nach fünf Minuten eingetreten war.

Versuch 2. Endluft.

	Volum	Druck	°C.	Vol. b. 0°C. u. 1M.
Absorptionsrohr I.				
Anfangsvolum	148·9	729·47	11·6	104·20
Mit ClCa getrocknet . . .	149·3	737·39	15·4	104·22
Nach Absorption der CO_2 .	134·8	717·16	8·4	93·79
Absorptionsrohr III.				
Anfangsvolum	126·4	667·10	11·6	80·88
Mit ClCa getrocknet . . .	126·6	678·56	15·4	81·346
Nach Absorption der CO_2 .	113·8	661·23	8·4	73·004
Eudiometer III.				
Anfangsvolum	272·66	543·50	9·4	143·27
Nach Zusatz von Wasserstoff	383·25	644·59	8·6	239·50
Nach Zusatz von Knallgas .	448·57	693·96	13·1	297·03
Nach der Explosion . . .	385·71	634·97	11·8	234·77

Die Luft enthält;

	I	II	Mittel
CO_2	10·00	10·25	10·12%
O	—	0·99	0·99 „
N	—	88·76	88·89 „

Versuch 3. 7. Juni 1858.

Erwachsenes Kaninchen, mit demselben Luftraum. Die Luft des ersten Versuches geht beim Umfüllen verloren.

Nach einer Viertelstunde Wiederholung des Versuchs. Dauer 4 Minuten. Das Thier wird durch künstliche Respiration wieder belebt.

	Volum	Druck	°C.	Vol. b. 0°C. u. 1 M.
Absorptionsrohr I.				
Anfangsvolum getrocknet .	125·346	649·72	22·6	75·214
Nach Absorption der CO_2 .	115·067	640·41	22·2	68·047
Eudiometer I.				
Anfangsvolum	150·0	503·77	23·1	69·674
Nach Zusatz von Wasserstoff	204·11	557·39	23·7	104·69
Nach Zusatz von Knallgas .	307·92	630·39	20·4	178·80
Nach der Explosion	198·85	551·01	24·1	100·73
Nach Zusatz von Luft . . .	224·40	673·86	24·5	200·62
Nach Zusatz von Knallgas .	370·2	692·43	25·0	234·85
Nach der Explosion	268·80	617·79	26·0	151·27
Absorptionsrohr II.				
Anfangsvolum getrocknet .	105·04	644·92	22·6	62·818
Nach Absorption der CO_2 .	94·90	646·59	22·2	56·754
Eudiometer II.				
Anfangsvolum	80·8	423·36	23·7	31·476
Nach Zusatz von Wasserstoff	115·0	457·57	24·5	48·291
Nach Zusatz von Knallgas .	179·82	521·52	24·8	85·98
Nach der Explosion . . .	111·8	453·87	24·5	46·465
Nach Zusatz von Luft . . .	223·26	564·07	24·8	115·46
Nach Zusatz von Knallgas .	261·67	602·70	24·8	144·66
Nach der Explosion . . .	189·88	531·48	25·1	92·426

Die Endluft enthält:

	I	II	Mittel
CO_2	9·52	9·65	9·58
O	1·71	1·74	1·73
N	88·77	88·63	88·69

Versuch 4.

Dasselbe Thier wird nach viertelstündiger Ruhe an denselben Luftraum gebracht. Nach 2 Minuten beginnende Suffocation; nach 4 Minuten Aufhören der Respiration, Unempfindlichkeit der Cornea. Das Thier wird durch künstliche Respiration wieder belebt.

	Volum	Druck	°C.	Vol. b. 0°C. u. 1 M.
Absorptionsrohr III.				
Anfangsvolum getrocknet .	166·8	739·92	22·5	114·04
Nach Absorption der CO_2 .	152·1	740·51	22·1	104·21
Eudiometer III.				
Anfangsvolum	177·77	534·45	23·1	87·602
Mit Wasserstoff	235·42	591·86	23·7	128·22
Mit Knallgas	345·50	722·62	23·4	223·16
Nach der Explosion . . .	228·72	584·97	24·1	122·93

Die Luft enthält:

CO_2 8·62%
O 1·82 „
N 89·86 „

Versuch 5.

Dasselbe Thier wird nach 20 Minuten nochmals an den Luftraum gebracht. Dauer abermals 4 Minuten. Längere Zeit fortgesetzte künstliche Respiration stellt auch diesmal das Thier wieder her.

	Volum	Druck	°C.	Vol. b. 0°C. u. 1 M.
Absorptionsrohr IV.				
Anfangsvolum getrocknet .	66·2	668·51	22·5	42·127
Nach Absorption der CO_2 .	61·4	661·26	22·5	38·680
Eudiometer III.				
Anfangsvolum	180·94	525·78	24·5	87·307
Mit Wasserstoff	230·75	575·86	24·8	121·305
Mit Knallgas	307·9	651·74	24·8	184·06
Nach der Explosion	224·23	568·13	25·1	116·67

Die Luft enthält:

CO_2 8·18%
O 1·61 „
N 90·21 „

Versuch 6. 11. Juni 1858.

Erwachsenes Kaninchen an demselben Luftraum. Dauer des Versuchs 5 Minuten.

	Volum	Druck	°C.	Vol. b. 0°C. u. 1 M.
Absorptionsrohr I.				
Anfangsvolum	195·7	701·6	23·5	126·43
Mit ClCa getrocknet . . .	193·0	717·49	24·7	126·34
Nach Absorption der CO_2 .	170·505	712·87	25·4	111·40
Eudiometer III.				
Anfangsvolum	176·75	634·08	25·3	99·33
Mit Wasserstoff	257·92	596·36	25	135·51
Mit Knallgas	371·78	716·47	26·1	243·48
Nach der Explosion . . .	238·89	587·99	25·3	128·56
Mit Luft	337·01	684·98	25·6	210·94
Mit Knallgas	390·2	720·32	25·7	256·91
Nach der Explosion . . .	254·06	631·25	25·9	163·79

Dies ergibt die Zusammensetzung:

CO_2 11·82%
O 2·07 „
N 86·11 „

Versuch 7.

Nach 15 Minuten wird derselbe Versuch mit dem Thiere wiederholt. Die Respiration ist etwas beschleunigter. Künstliche Respiration bringt das Thier wieder zum Leben. Dauer des Versuchs 5 Minuten.

	Volum	Druck	°C.	Vol. b. 0°C. u. 1 M.
Absorptionsrohr II.				
Anfangsvolum	216·6	700·92	23·5	139·79
Mit ClDa getrocknet . . .	212·9	715·79	24·7	139·76
Nach Absorption der CO_2 .	183·2	747·22	25·4	125·13
Eudiometer I.				
Anfangsvolum	67·7	492·81	25·3	30·488
Mit Wasserstoff	103·6	450·49	25	42·759
Mit Knallgas	157·3	501·27	26·1	80·209
Nach der Explosion	99·8	431·25	27·2	39·958

Die Luft enthält:

CO_2 10·39%
O 2·74 „
N 86·87 „

Versuch 8.

Nach einer Viertelstunde derselbe Versuch an demselben Thier. Dauer 5 Minuten 20 Secunden.

	Volum	Druck	°C.	Vol. b. 0°C. u. 1 M.
Absorptionsrohr III.				
Anfangsvolum	179·4	717·00	23·5	117·51
Mit ClCa getrocknet . . .	175·4	730·56	24·7	117·51
Nach Absorption der CO_2 .	160·7	732·78	25·4	107·74
Eudiometer I.				
Anfangsvolum	128·8	472·68	26·3	55·53
Mit Wasserstoff	187·77	534·67	25·6	91·89
Mit Knallgas	230·41	548·20	21·0	115·34
Nach der Explosion . . .	182·14	527·93	26·5	87·65

Die Luft enthält:

CO_2	8·31%
O	2·27 „
N	89·42 „

Versuch 9.

Erwachsenes Kaninchen an demselben Luftraum. Mehrere Versuche, welche rasch nach einander vorgenommen werden, so dass zwischen jedem nur 5 bis 7 Minuten liegen. Erster Versuch. Dauer 4 Minuten.

	Volum	Druck	°C.	Vol. b. 0°C. u. 1 M.
Absorptionsrohr I.				
Anfangsvolum	190·024	728·43	18·2	129·71
Mit ClCa getrocknet . . .	190·084	738·64	22·9	129·55
Nach Absorption der CO_2 .	167·345	733·54	23·45	113·08
Eudiometer III.				
Anfangsvolum	189·01	630·21	23·3	109·82
Mit Wasserstoff	226·88	661·78	24·1	137·95
Mit Knallgas	284·3	680·53	24·2	177·74
Nach der Explosion	215·38	650·54	24·1	128·75

Die Luft enthält:

CO_2	12·71%
O	2·43 „
N	84·86 „

Versuch 10.

Dasselbe Thier an demselben Luftraum, nach 7 Minuten. Dauer des Versuchs 5 Minuten 15 Secunden.

	Volum	Druck	°C.	Vol. b. 0°C. u. 1 M.
Absorptionsrohr III.				
Anfangsvolum	175·2	751·13	18·2	123·38
Mit ClCa getrocknet . . .	175·0	764·48	22·9	123·43
Nach Absorption der CO_2 .	163·6	745·49	23·45	112·17

	Volum	Druck	°C.	Vol. b. 0°C. u. 1 M.
Eudiometer I.				
Anfangsvolum	155·8	579·44	21·7	83·63
Mit Wasserstoff	226·48	650·85	21·6	136·6
Mit Knallgas	290·1	670·43	21·6	186·09
Nach der Explosion	210·57	634·83	21·6	123·88

Die Luft enthält:

CO_2	9·12%
O	4·62 „
N	56·26 „

Versuch 11.

Derselbe Versuch wird mit demselben Thier noch fünfmal wiederholt; es gelingt jedesmal, durch künstliche Respiration das Thier wieder zu beleben, doch muss sie bei den letzten Versuchen längere Zeit angewendet werden.

Im 7. Versuche, der 5 Minuten dauert, stirbt das Thier.

	Volum	Druck	°C.	Vol. b. 0°C. u. 1 M.
Absorptionsrohr I.				
Anfangsvolum	162·2	714·90	22·7	107·05
Mit ClCa getrocknet . . .	158·5	730·19	22·1	107·07
Nach Absorption der CO_2 .	148·1	715·03	22·8	97·705
Eudiometer I.				
Anfangsvolum	205·02	652·23	23·3	123·29
Mit Wasserstoff	280·37	720·65	24·1	185·67
Mit Knallgas	352·10	740·31	24·1	239·53
Nach der Explosion	248·83	689·58	25·1	157·68
Absorptionsrohr II.				
Anfangsvolum	140·2	718·04	22·7	93·013
Mit ClCa getrocknet . . .	139·5	720·21	22·1	92·95
Nach Absorption der CO_2 .	129·5	709·37	22·8	84·863
Eudiometer I.				
Anfangsvolum	216·85	659·41	22·2	132·25
Mit Wasserstoff	288·93	730·97	22·1	195·39
Mit Knallgas	352·72	746·23	22·0	243·58
Nach der Explosion	255·64	697·41	21·7	164·92

Die Zusammensetzung der Luft ist:

	I	II	Mittel
CO_2	8·74	8·70	8·72
O	6·90	7·00	6·95
N	84·36	84·30	84·33

Versuch 12.

Erwachsenes Kaninchen; im Curs von Professor Ludwig an denselben Apparat gebracht. Dauer des Versuches 4 Minuten.

	Volum	Druck	°C.	Vol. b. 0°C. u. 1 M.
Absorptionsrohr I.				
Anfangsvolum	220·9	716·46	21·2	146·87
Mit ClCa getrocknet . . .	216·1	733·43	20·5	147·43
Nach Absorption der CO_2 .	207·8	702·73	25·2	133·70
Eudiometer III.				
Anfangsvolum	237·57	577·31	23·6	126·25
Mit Wasserstoff	269·22	607·02	23·7	150·39
Mit Knallgas	324·6	622·82	24·1	185·80
Nach der Explosion	256·77	592·95	23·6	140·15

Die Luft enthält:

CO_2	9·31%
O	2·44 „
N	88·52 „

Versuch 13. 5. Juli 1858.

Kaninchen mit einem abgeschlossenen Luftraume von 500 CC. in Verbindung gesetzt. Dauer des Versuches 9 Minuten.

	Volum	Druck	°C.	Vol. b. 0°C. u. 1 M.
Absorptionsrohr II.				
Anfangsvolum	146·88	665·03	22·5	90·24
Mit ClCa getrocknet . . .	142·51	683·17	18·7	91·119
Nach Absorption der CO_2 .	133·43	667·11	24·4	81·72
Eudiometer II.				
Anfangsvolum	136·38	510·32	23·1	64·298
Mit Wasserstoff	166·76	540·13	22·95	83·085
Mit Knallgas	217·4	564·03	23·0	113·10
Nach der Explosion	155·27	528·29	22·8	75·71
Absorptionsrohr IV.				
Anfangsvolum	127·4	743·03	22·5	87·41
Mit ClCa getrocknet . . .	121·6	761·67	18·7	86·68
Nach Absorption der CO_2 .	113·6	745·67	24·4	77·76
Eudiometer III.				
Anfangsvolum	295·40	628·89	23·7	171·06
Mit Wasserstoff	365·279	794·48	23·8	233·48
Mit Knallgas	440·34	715·12	23·8	289·67
Nach der Explosion	344·54	673·31	24·0	213·38

Die Luft enthält:

	I	II	Mittel
CO_2	10·31	10·29	10·30
O	3·42	3·50	3·46
N	86·27	86·21	86·24

Versuch 14.

Dasselbe Thier nach Verlauf einer Viertelstunde an demselben Luftraume. Dauer des Versuches 9 Minuten.

Die Analyse der Endluft ergibt:

	Volum	Druck	°C.	Vol. b. 0°C. u. 1M.
Absorptionsrohr III.				
Anfangsvolum	141·4	88·62	22·5	89·96
Mit ClCa getrocknet . . .	136·4	706·02	18·7	90·04
Nach Absorption der CO_2 .	130·56	693·49	24·4	83·11
Eudiometer III.				
Anfangsvolum	149·79	546·54	23·1	75·583
Mit Wasserstoff	189·70	582·79	22·95	102·904
Mit Knallgas	228·23	603·82	23·0	127·11
Nach der Explosion	196·49	569·61	22·8	92·896

Dies gibt

CO_2	7·69%
O	3·72 „
N	88·59 „

Versuch 15.

Derselbe Versuch nach einer weiteren Viertelstunde an demselben Thiere. Dauer 8 Minuten. Das Thier wird auch diesmal durch künstliche Respiration zum Leben gebracht.

	Volum	Druck	°C.	Vol. b. 0°C. u. 1M.
Absorptionsrohr VII.				
Anfangsvolum	84·64	600·56	23·7	46·77
Mit ClCa getrocknet . . .	82·6	617·89	22·2	47·202
Nach Absorption der CO_2 .	76·5	611·7	22·3	43·256
Eudiometer I.				
Anfangsvolum	76·383	446·82	23·5	31·428
Mit Wasserstoff	117·49	481·16	23·8	52·002
Mit Knallgas	178·19	522·13	23·8	85·58
Nach der Explosion	111·36	474·87	24·0	48·612
Absorptionsrohr VIII.				
Anfangsvolum	188·02	641·89	23·7	111·06
Mit ClCa getrocknet . . .	183·12	657·25	22·2	111·31
Nach Absorption der CO_2 .	171·48	645·58	22·7	102·00

Eudiometer II.	Volum	Druck	°C.	Vol. b. 0°C. u. 1 M.
Anfangsvolum	179·99	534·26	23·6	88·531
Mit Wasserstoff	219·09	583·43	23·7	118·11
Mit Knallgas	291·42	624·23	24·1	167·17
Nach der Explosion	210·163	560·94	23·6	108·515

Die Luft enthält:

	I	II	Mittel
CO_2	8·35	8·28	8·31
O	3·29	3·31	3·30
N	88·36	88·41	88·39

Die folgenden Versuche wurden mit einem grössern Luftbehälter ausgeführt, welcher eine Theilung von 5 zu 5 Kubikcentimetern am Halse trug und das Volum der Athmungsluft vor und nach dem Versuche mit hinreichender Genauigkeit abzulesen gestattete.

Versuch 16. 20. Juli 1858.

Erwachsenes Kaninchen in atmosphärischer Luft. Dauer des Versuchs 10 Minuten. Volum der Luft im Beginn 750 CC., nach Beendigung des Versuchs 716 CC. Das Thier kann durch künstliche Respiration nicht mehr zum Leben gebracht werden.

Absorptionsrohr III.	Volum	Druck	°C.	Vol. b. 0°C. u. 1 M.
Anfangsvolum	161·0	809·66	24·5	104·86
Mit ClCa getrocknet . . .	157·4	728·47	24·5	105·23
Nach Absorption der CO_2 .	142·25	715·501	24	93·56
Eudiometer II.				
Anfangsvolum	161·60	526·73	23·95	76·802
Mit Wasserstoff	211·37	578·04	24·0	122·32
Mit Knallgas	293·2	607·92	24·0	163·85
Nach der Explosion	198·84	561·16	24·0	102·57
Absorptionsrohr VII.				
Anfangsvolum	160·36	709·86	24·5	104·47
Mit ClCa getrocknet . . .	156·48	728·05	24·5	104·25
Nach Absorption der CO_2 .	141·76	716·83	24	93·41
Eudiometer III.				
Anfangsvolum	149·30	593·41	24·2	81·389
Mit Wasserstoff	254·14	697·20	24·2	162·75
Mit Knallgas	322·6	720·42	34·1	206·95
Nach der Explosion	241·94	686·34	24·2	152·54

Die Anfangsluft enthielt in 750 CC.

O 157·2 CC.
N 592·8 „

Die Endluft ergab

	I	II	Mittel
O_2	11·09	10·65	10·87
O	3·76	3·73	3·75
N	85·15	85·62	85·39

und in absoluter Menge

CO_2	77·829 CC.
O	26·850 „
N	611·321 „
	716·000 CC.

Die Dauer des Versuches war 10 Minuten. Das Thier verzehrte während dieser Zeit 130·35 CC. Sauerstoff, was für eine Minute 13·03 CC. ergibt. In der Endluft waren aber nur enthalten 77·829 CC. Kohlensäure, mithin fehlten vom verzehrten Sauerstoffvolum 52·52 CC., welche als Kohlensäure im Thier blieben. Zugleich fand sich aber in der Endluft ein Überschuss von 18·521 CC. Stickstoff.

Versuch 17. 20. Juli 1858.

Erwachsenes Kaninchen, schwächlich, mit starker Conjunctivablennorrhöe, überhaupt anscheinend leidend. Dauer des Versuchs 6 Minuten 50 Secunden. Das Thier wird durch künstliche Respiration rasch wieder belebt. Volum der Anfangsluft 750 CC., der Endluft 730 CC.

	Volum	Druck	°C.	Vol. b. 0°C. u. 1M.
Absorptionsrohr IV.				
Anfangsvolum	125·6	705·27	24·1	81·402
Mit ClCa getrocknet . . .	122·6	824·39	23·4	81·693
Nach Absorption der CO_2 .	112·6	714·95	22·6	74·351
Eudiometer II.				
Anfangsvolum	220·15	578·23	24·2	116·952
Mit Wasserstoff	334·72	691·22	24·2	212·54
Mit Knallgas	388·4	730·43	24·2	260·96
Nach der Explosion	312·3	671·20	24·2	192·56
Absorptionsrohr IX.				
Anfangsvolum	203·07	685·83	24·1	126·72
Mit ClCa getrocknet . . .	197·87	702·07	23·4	126·65
Nach Absorption der CO_2 .	182·27	691·72	22·6	115·17
Eudiometer III.				
Anfangsvolum	164·16	566·03	24·2	85·46
Mit Wasserstoff	266·56	661·54	24·2	162·12
Mit Knallgas	322·4	702·04	24·2	207·93
Nach der Explosion	250·0	646·10	24·2	148·52

Die Anfangsluft enthält in 750 CC.

O 157·2 CC.
N 592·8 „

Die Endluft ergab

	I	II	Mittel
CO_2	8·99	9·08	9·03
O	5·18	4·82	5·00
N	85·83	86·10	85·97

und in absoluter Menge

CO_2 65·91 CC.
O 36·50 „
N 627·59 „

Die Dauer des Versuchs beträgt 6·8 Minuten.

Das Kaninchen verzehrte während dieser Zeit 120·7 CC. Sauerstoff, was für die Minute 17·7 CC. gibt. Die Endluft enthielt nur 65·91 CC. Kohlensäure, mithin blieben von dem verzehrten Sauerstoff 54·79 CC. in Form von Kohlensäure im Thiere. Zugleich enthält aber die Endluft ein Plus von 34·79 CC. Stickstoff.

Versuch 18. 28. Juli 1858.

Erwachsenes Kaninchen in Verbindung mit dem Luftraume von 750 CC., nachdem es bereits 40 Minuten im abgeschlossenen Raume von Sauerstoff (und Kohlensäure) geathmet hatte. Beginn des Versuches 7 Minuten nach Beendigung des Sauerstoffversuches. Dauer 10 Minuten. Volum der Anfangsluft 750 CC., der Endluft 722 CC.

	Volum	Druck	°C.	Vol. b. 0°C. u. 1M.
Absorptionsrohr VII.				
Anfangsvolum	180·49	709·65	24·6	117·505
Mit ClCa getrocknet . . .	176·01	727·43	23·6	117·86
Nach Absorption der CO_2 .	152·0	721·06	19·4	102·33
Eudiometer III.				
Anfangsvolum	129·24	538·67	19·3	65·023
Mit Wasserstoff	159·58	566·29	18·8	84·659
Mit Knallgas	237·07	602·43	18·8	133·62
Nach der Explosion	143·67	537·15	18·7	72·314
Absorptionsrohr VIII.				
Anfangsvolum	257·5	727·99	24·6	171·97
Mit ClCa getrocknet . . .	251·9	745·29	23·6	172·81
Nach Absorption der CO_2 .	220·1	729·73	19·4	149·96

Eudiometer III.	Volum	Druck	°C.	Vol. b. 0°C. u. 1M.
Anfangsvolum	86·02	505·32	19·3	40·674
Mit Wasserstoff	118·80	537·00	19·3	59·686
Mit Knallgas	166·95	560·23	19·3	87·35
Nach der Explosion	106·62	523·49	19·3	52·229

Die Anfangsluft enthält in 750 CC:

O 157·2 CC.
N 592·8 „

Die Endluft ergibt:

	I	II	Mittel
CO_2	13·17	13·22	13·195
O	5·29	5·49	5·39
N	81·54	81·29	81·415

und in absoluter Menge:

CO_2 95·27 CC.
O 38·96 „
U 587·77 „

Der Versuch dauerte 10 Minuten. Während dieser Zeit verzehrte das Kaninchen 118·24 CC. Sauerstoff, mithin in 1 Minute 11·8 CC. Dafür erschienen blos 95·27 CC. Kohlensäure in der Endluft. Es fehlen mithin von dem verzehrten O 22·97 CC., welche im Thier blieben. Ferner ergibt sich ein Minus von 5·03 CC. Stickstoff.

Die vier folgenden Versuche betreffen zwei Kaninchen, bei welchen vor dem Versuche Blut aus der *Vena jugularis* genommen wurde, um zu sehen, ob mässige Blutentziehungen einen Einfluss auf die Sauerstoffabsorption nachweisen liessen. Die benutzten Apparate erwiesen sich aber als unzureichend. Einmal durfte das entzogene Blutvolum nicht zu gross sein, weil sonst bei der herbeigeführten Schwäche des Thieres ein rascheres Ersticken wegen zu schneller Ermüdung zu fürchten war, andererseits war bei einer mässigen Blutentziehung die Verminderung der in der Zeiteinheit durch die Lungencapillaren strömenden Blutkörperchenmenge eine zu unbedeutende, als dass ihr Einfluss für die kurze Dauer der vorliegenden Versuche sehr merklich hätte sein können. Wir können daher ohne Fehler die folgenden Versuche als an normalen Thieren angestellt betrachten.

Versuch 19. 11. August 1858.

Kräftiges Kaninchen, nach Entleerung von etwa 5 CC. Blut, im Raume von 750 CC. atmosphärischer Luft erstickt, dann durch künstliche Respiration wieder zum Leben gebracht. Dauer des Versuches 10 Minuten. Volum der Anfangsluft 750 CC., der Endluft 736 CC.

	Volum	Druck	°C.	Vol. b. 0°C. u. 1M.
Absorptionsrohr III.				
Anfangsvolum getrocknet .	174·4	756·32	22·2	121·99
Nach Absorption der CO_2 .	156·3	736·60	22·4	106·41
Eudiometer III.				
Anfangsvolum	159·70	591·95	22·6	87·511
Mit Wasserstoff	233·28	666·61	22·6	143·63
Mit Knallgas	290·42	689·42	22·6	184·92
Nach der Explosion	219·15	661·88	22·6	133·96
Absorptionsrohr VII.				
Anfangsvolum getrocknet .	175·41	754·94	22·2	122·47
Nach Absorption der CO_2 .	156·68	737·10	22·4	106·73
Eudiometer III.				
Anfangsvolum	143·67	593·14	22·4	78·74
Mit Wasserstoff	201·04	649·17	22·8	120·46
Mit Knallgas	264·30	670·32	22·7	163·57
Nach der Explosion	189·21	637·98	22·7	111·45

Die Anfangsluft enthielt in 750 CC.

O 157·2 CC.
N 592·8 „

Die Endluft enthielt:

	I	II	Mittel
CO_2	12·77	12·85	12·81%
O	3·30	3·32	3·31 „
N	83·93	83·83	83·88 „

und in absoluter Menge:

CO_2	94·28 CC.
O	24·43 „
N	617·29 „
	736·00 CC.

Der Versuch dauerte 10 Minuten; während derselben Zeit wurden aufgenommen 132·77 CC. Sauerstoff, was für die Minute 13·27 ergibt.

Dafür erschienen 94·28 CC. Kohlensäure in der Exspirationsluft, es fehlen mithin vom verzehrten Sauerstoff 38·49 CC., welche in dem Thier blieben. Zugleich findet sich ein Plus von 24·49 CC. Stickstoff.

Versuch 20.

Dasselbe Thier wurde nach halbstündiger Ruhe an denselben Luftraum gebracht, zwischen die Ventile und den Athmungsraum waren jedoch zwei U-förmige Röhren mit feuchtem Kalihydrat und zwei Liebig'sche Kaliapparate zur Entfernung der Kohlensäure gebracht. Dadurch wurde natürlich eine genauere Bestimmung des Luftraumes unmöglich; andererseits aber hatte das Thier jetzt weit mehr Widerstände zu überwinden als früher, indem zu der Quecksilbersäule der Ventile noch die Säule der Kalilösung und der Widerstand in den U-förmigen Röhren kam. Wie beträchtlich diese Hindernisse waren, zeigt das Resultat des Versuches. Dauer 9 Minuten. Die Endluft entsprechend der absorbirten Kohlensäure beträchtlich vermindert.

	Volum	Druck	°C.	Vol. b. 0°C. u. 1M.
Absorptionsrohr VIII.				
Anfangsvolum getrocknet .	224·6	709·37	21·3	147·80
Nach Absorption der CO_2 .	223·6	708·20	21·5	146·80
Eudiometer II.				
Anfangsvolum	201·68	565·70	22·4	105·45
Mit Wasserstoff	248·37	619·79	22·8	142·08
Mit Knallgas	302·00	640·07	22·7	178·48
Nach der Explosion	210·59	583·20	22·7	113·40
Absorptionsrohr II.				
Anfangsvolum getrocknet .	99·562	751·135	22·2	59·99
Nach Absorption der CO_2 .	99·762	751·33	22·4	60·08
Eudiometer II.				
Anfangsvolum	130·81	498·56	22·6	60·55
Mit Wasserstoff	230·24	596·72	22·6	127·20
Mit Knallgas	291·40	630·42	22·6	151·21
Nach der Explosion	208·96	575·61	22·6	111·40

Die Luft enthält:

	I	II	Mittel
CO_2	0·00	0·67	0·33%
O	8·69	9·06	8·88 „
N	91·31	90·27	90·79 „

Versuch 21. 17. August 1858.

Kaninchen, nach Entziehung von 6 Grm. Blut aus der *Vena jugularis* mit dem Luftbehälter in Verbindung gesetzt. Dauer des Versuches 9 Minuten 40 Secunden. Volum der Luft im Beginne 710 CC., am Ende 695 CC.

	Volum	Druck	°C.	Vol. b. 0°C. u. 1M.
Absorptionsrohr VII.				
Anfangsvolum getrocknet .	192·53	722·54	23·5	128·10
Nach Absorption der CO_2 .	175·51	703·79	21·9	114·36
Eudiometer II.				
Anfangsvolum	136·38	500·11	23·2	62·86
Mit Wasserstoff	220·29	582·23	23·0	118·28
Mit Knallgas	266·3	604·02	23·0	148·37
Nach der Explosion	208·83	572·79	22·8	110·41

Die Anfangsluft enthält:

O 148·82 CC.
N 561·18 „

Die Endluft zeigte

CO_2 10·72%
O 3·72 „
N 85·56 „

und in absoluter Menge

CO_2 74·504 CC.
O 25·854 „
N 594·642 „

Die Dauer des Versuches ist 9 Minuten 40 Secunden. In dieser Zeit wurden verzehrt 122·96 CC. Sauerstoff, mithin in 1 Minute 12·7 CC. Dafür erschienen in der Endluft 74·5 CC. Kohlensäure; vom verschwundenen Sauerstoff fehlten mithin 48·464 CC., welche in dem Thiere blieben. Zugleich findet sich in der Endluft ein Plus von 33·46 CC. Stickstoff.

Versuch 22.

Dasselbe Thier an demselben Luftraume; jedoch waren die beiden Quecksilberventile durch zwei Kaliventile ersetzt. Der letztere Umstand gestattete auch hier keine genaue Bestimmung des Volums. Dauer des Versuches 7 Minuten.

	Volum	Druck	°C.	Vol. b. 0°C. u. 1M.
Absorptionsrohr IV.				
Anfangsvolum getrocknet .	125·6	727·05	23·5	84·08
Nach Absorption der CO_2 .	120·6	720·04	21·9	80·39
Eudiometer III.				
Anfangsvolum	143·07	580·59	23·2	76·56
Mit Wasserstoff	213·86	652·35	23·0	128·68
Mit Knallgas	273·00	694·32	22·9	174·89
Nach der Explosion	198·39	637·94	22·8	116·82

Dies gibt folgende Zusammensetzung:

CO_2	4·39%
O	4·93 „
N	90·68 „

Auch hier war entsprechend der Menge von absorbirter Kohlensäure das Luftvolum zu Ende des Versuches sehr beträchtlich vermindert.

Der in den bisher mitgetheilten Versuchen in die Augen springende Einfluss der Grösse des Athmungsraumes auf den rückständigen Sauerstoffgehalt liess es wünschenswerth erscheinen, auch noch den möglichst kleinsten Athmungsraum, in dem ein Thier ersticken kann, auf seinen Sauerstoffgehalt zu untersuchen. Dieser ist aber offenbar der Lungenraum selbst. Mit anderen Worten musste also noch zur Vervollständigung die Lungenluft eines Thieres untersucht werden, das in einem den Lungenraum wenig vergrössernden Luftbehälter erstickt war.

An Kaninchen liess sich dies nicht ausführen, da ihr Lungenraum zu klein ist, um eine genaue Analyse mit der darin enthaltenen Luft, auch wenn man sie nahezu vollständig bekäme, ausführen zu können.

Ich wählte daher zu diesem Versuch kleine Hunde. Diesen wurde wie früher eine passende Canule in die Trachea eingesetzt. Mit dieser Canule wurde eine einfache rechtwinkelig gebogene Glasröhre von 30 CC. Inhalt durch einen gut schliessenden Kautschukschlauch verbunden, deren unteres freies Ende in Quecksilber tauchte. Das Thier athmete mithin in einem sehr kleinen abgeschlossenen Raume, die Erstickungszufälle stellten sich natürlich sehr rasch ein; sie waren jedoch bei beiden Thieren von kurzer Dauer und verhältnissmässig geringer Heftigkeit. Nach vollständiger Erstickung des Thieres wurde zunächst die Luft aus dem vorgelegten Rohre gesammelt, was leicht dadurch gelang, dass ein Gehülfe den Thorax des todten Thieres kräftig comprimirte, wodurch die Luft aus dem Rohre ausgetrieben werden musste und in das vorgelegte Absorptionsrohr eintreten konnte. Die restirende Lungenluft wurde dadurch gewonnen, dass die Brusthöhle des Thieres mit der nöthigen Vorsicht geöffnet wurde. Beim Öffnen strömte die äussere Luft rasch und mit hörbarem Geräusch in den Pleuraraum, da natürlich in Folge des

vorhergegangenen Druckes auf die Lunge eine beträchtliche Spannung zwischen Thorax und Lungenwand bestehen musste.

In den Pleuraraum wurde rasch so viel Quecksilber eingegossen als nöthig schien, die Öffnung in der Brustwand wieder geschlossen, und es gelang nun durch eine mässig starke Compression den grössten Theil der in der Lunge enthaltenen Luft in das vorgelegte Absorptionsrohr zu füllen. Dass hierauf die Lunge auf ihre Integrität sorgfältig untersucht wurde, versteht sich von selbst. Der Fehler, den möglicherweise eine eingetretene Diffusion des Lungengases und der atmosphärischen Luft während der kurzen Zeit des Quecksilbereinfüllens herbeiführen konnte, kann kein messbarer sein, da die Lunge nur mit einer sehr geringen Oberfläche blosslag und die Diffusion der Gase durch die Lungenwand nicht so rasch vor sich geht, um hier auch nur annähernd in Betracht zu kommen.

Die Analyse der so gewonnenen Luft lieferte die folgenden höchst überraschenden Resultate, an deren Richtigkeit die Genauigkeit der analytischen Methode keinen Zweifel zulässt.

Versuch 23.

Kleiner Hund, im abgeschlossenen Raume von 30 CC. erstickt.

A. Luft des vorgelegten Rohres.

	Volum	Druck	°C.	Vol. b. 0°C. u. 1M.
Absorptionsrohr III.				
Anfangsvolum getrocknet .	179·1	770·50	18·6	129·20
Nach Absorption der CO_2 .	159·4	757·04	19·2	112·74
Eudiometer III.				
Anfangsvolum	169·61	610·79	18·9	96·892
Mit Wasserstoff	189·91	632·91	18·9	112·41
Mit Knallgas	246·20	662·37	19·2	152·36
Nach der Explosion	184·92	628·64	19·6	108·47

Die Luft enthält:

CO_2 12·74%
O 1·18 „
N 86·08 „

B. Luft aus der Lunge.

	Volum	Druck	°C.	Vol. b. 0°C. u. 1M.
Absorptionsrohr II.				
Anfangsvolum getrocknet .	224·5	767·58	18·6	161·34
Nach Absorption der CO_2 .	196·5	740·29	19·2	135·91

Eudiometer II.	Volum	Druck	°C.	Vol. b. 0°C. u. 1M.
Anfangsvolum	221·02	607·51	19·1	125·49
Mit Wasserstoff	266·35	651·79	19·0	162·31
Mit Knallgas	340·0	680·24	19·0	216·24
Nach der Explosion	266·22	651·61	19·0	162·18

Das Gas enthält:

CO_2 15·76
O Spuren
N 84·24

Versuch 24.

Ein zweiter Hund von nahezu derselben Grösse, mit derselben Vorrichtung erstickt.

A. Luft des vorgelegten Rohres.

Absorptionsrohr VIII.	Volum	Druck	°C.	Vol. b. 0°C. u. 1M.
Anfangsvolum getrocknet .	181·08	694·15	18·6	117·68
Nach Absorption der CO_2 .	164·56	679·20	19·2	104·43
Eudiometer II.				
Anfangsvolum	173·56	559·06	18·9	90·75
Mit Wasserstoff	190·95	577·11	18·9	103·07
Mit Knallgas	295·42	596·34	19·2	164·60
Nach der Explosion	186·48	571·33	19·6	99·41

Die Luft enthält:

CO_2 11·26%
O 1·19 „
N 87·55 „

B. Luft aus der Lunge.

Absorptionsrohr VII.	Volum	Druck	°C.	Vol. b. 0°C. u. 1M.
Anfangsvolum getrocknet .	56·8	633·65	18·6	33·696
Nach Absorption der CO_2 .	48·8	627·56	19·2	28·613
Eudiometer III.				
Anfangsvolum	43·525	490·08	19·1	19·936
Mit Wasserstoff	69·475	516·43	19·0	33·545
Mit Knallgas	90·04	539·20	19·0	45·39
Nach der Explosion	69·03	516·01	19·0	33·303

Die Luft enthält:

CO_2 15·08%
O 0·34 „
N 84·58 „

Zur leichteren Übersicht stelle ich die Versuche in nachfolgender Tabelle zusammen.

Volum des Athem-raumes	Nr. des Versuches	CO_2 %	O %	N %	Anmerkung
30 CC.	23	12·74	1·18	86·08	
—	23	15·76	Spur	84·24	Lungenluft
30 „	24	11·26	1·19	87·55	
„ „	24	15·08	0·34	84·58	Lungenluft
125 „	1	9·81	2·45	87·74	
„ „	2	10·12	0·99	88·89	
„ „	3	9·58	1·73	88·69	
„ „	4	8·62	1·82	89·56	
„ „	5	8·18	1·61	90·21	
„ „	6	11·82	2·07	86·11	
„ „	7	10·39	2·74	86·87	
„ „	8	8·31	2·27	89·82	
„ „	9	12·71	2·43	84·86	
„ „	10	9·12	4·62	86·26	5 Min. später
„ „	11	8·72	6·95	84·33	„ „ „
„ „	12	9·31	2·44	88·52	
500 „	13	10·30	3·46	86·24	
„ „	14	7·69	3·72	88·59	
„ „	15	8·31	3·30	88·39	
750 „	16	11·87	3·75	85·38	
„ „	17	9·03	5·00	85·97	schwächl. Thier
„ „	18	13·19	5·39	81·41	war schon in 0 ¾ St.
„ „	19	12·81	3·31	83·88	
„ „	20	0·33	8·88	90·79	schwierige Respirat.
„ „	21	10·72	3·72	85·56	
„ „	22	4·39	4·93	90·68	

Eine Betrachtung der mitgetheilten Versuche ergibt, dass sie die oben abgeleiteten Voraussetzungen in erwünschter Weise bestätigen. Sie zeigen zunächst den Einfluss, welchen die Grösse des Athmungsraumes auf die Sauerstoffabsorption ausübt, eine Erscheinung, die sich ungezwungen aus dem oben Gesagten ableitet. Sie zeigen ferner den beträchtlichen Einfluss der Ermüdung und entgegenstehender Hindernisse. Versuch 9 und 10 sind nur durch 5 Minuten von einander getrennt; der rückständige Sauerstoff steigt dabei bis zum siebenten an diesem Thiere vorgenommenen, wo er 6·95 pCt. erreichte. Wir sehen diesen Einfluss ferner an dem kränklichen Thiere von Versuch 17 und an dem Thiere von Versuch 18, welches bereits ¾ Stunden in Sauerstoff (und Kohlensäure) geathmet hatte. Ebenso lässt sich die enorme Ziffer von Versuch 20 am ungezwungensten aus den beträchtlichen Widerständen erklären, welche hier der raschen Lüftung entgegen standen.

Die gefundene procentische Sauerstoffmenge steht mit den Angaben der früheren Forscher ziemlich in Einklang. Dass die Zahlen fast durchweg niedriger sind, erklärt sich aus der geringern Grösse des angewandten Luftvolums, aus der vollkommenen Mischung der Luft im Athmungsraume, endlich aus der erst beim Aufhören der Respiration vorgenommenen Beendigung der Versuche.

Die Verminderung des Sauerstoffgehaltes bis zu 1 Procent und noch darunter könnte auffallend erscheinen, wenn man bedenkt, wie rasch das Blut an oxygenfreier Luft Sauerstoff abgibt; es verliert sich das Auffallende, wenn man sich erinnert, dass das lebende Blut fortwährend mit Substanzen in Berührung ist, welche seinen Sauerstoff begierig aufnehmen und in feste Verbindungen überführen, ein Process, der während des Lebens mit grosser Energie vor sich geht und erst einige Zeit nach dem eingetretenen Tode sein Ende erreicht. Dagegen gestatten die grösseren Mengen rückständigen Sauerstoffs den Schluss, dass die zur Erhaltung des Lebens nothwendige Grenze dieses Gases höher liegen muss als die hier gefundenen Zahlen.

Die in allen Versuchen constante Verminderung der Athmungsluft entspricht einer gewissen Menge von aufgenommenem Sauerstoff, welcher in der Exspirationsluft als Kohlensäure nicht wieder zum Vorschein gekommen ist. Wir können ohne erheblichen Fehler annehmen, dass bei unseren Thieren dieser Sauerstofftheil sich gleich dem übrigen im Körper des Thieres in Kohlensäure verwandelt hat und in dieser Form von ihm zurückgehalten wird; da nun die Kohlensäurespannung im Athmungsraume abhängig ist von der jeweiligen des Blutes, so beweist dieses constante Factum, dass die ursprüngliche Kohlensäurespannung im Blute der untersuchten Thiere tiefer lag als die zu Ende des Versuches im Luftraume vorhandene, indem sonst eine Zurückhaltung von Kohlensäure im Blute nicht denkbar wäre. Es zeigt dies übrigens, dass alle das Verhältniss zwischen aufgenommenem Sauerstoff und exspirirter Kohlensäure betreffenden Untersuchungen mit Vorsicht aufzunehmen sind, wenn nicht für die möglichst vollständige Entfernung der gebildeten Kohlensäure in dem betreffenden Apparat gesorgt wird, oder wenn nicht, wie dies in den classischen Untersuchungen von Regnault und Reiset [1]) der Fall war, die Menge der im Thiere bleibenden Kohlensäure

---

[1]) Annales de chimie et physique. Bd. 36.

gegenüber der während des Versuches ausgegebenen verschwindet. Ein Druck der Kohlensäure in der äussern Luft von nur 2—3 Procent muss bereits nachweisbare Fehler in die Berechnung des gegenseitigen Verhältnisses dieser Gase einführen.

Constant findet sich ferner eine Abnahme der Kohlensäurespannung im Athmungsraume bei wiederholten Erstickungsversuchen an demselben Thiere. Bei gleichzeitiger Erhöhung des Sauerstoffrückstandes beweist dies am Ende nichts als einen geringeren Verbrennungsprocess überhaupt (Versuch 10 und 11): dagegen bietet sich bei gleichbleibendem Sauerstoffverbrauch, angenommen dass auch jetzt noch aller Sauerstoff sich zu Kohlensäure umsetzt, hiefür keine andere Erklärung als die Annahme einer Verminderung der Kohlensäurespannung im Blute, resp. den Geweben des Thieres, zur Zeit als dieses mit den Apparat in Verbindung gesetzt wurde. Worauf diese Abnahme beruht, ob sie durch die Folgen der heftigen Muskelbewegungen [1]), welche das Thier während der Suffocation macht, ob durch andere Ursachen bedingt wird, lässt sich a priori nicht mit Sicherheit entscheiden.

Der Stickstoffgehalt des Athmungsraumes zeigte sich in allen Versuchen vermehrt, und zwar in höherem Grade, als dass diese Vermehrung einfachen Beobachtungsfehlern sich zuschreiben liesse. Die einzige Ausnahme macht der Versuch 18; dieses Thier war aber vorher längere Zeit in einer an Stickstoff äusserst armen Luft. Worauf diese Stickstoffausgabe beruht, lässt sich aus dem, was wir bis jetzt über den Gaswechsel bei der Respiration wissen, nicht einmal annähernd ableiten.

Durch die mitgetheilte Versuchsreihe war am lebenden Thiere das erreicht, was hier überhaupt innerhalb der Grenzen der Möglichkeit liegt; sie zeigen für das Verhalten des Sauerstoffes, dass er bis auf geringe Spuren aus der Athmungsluft durch das lebende Blut entfernt werden kann und diese Entfernung geschieht so rasch, das sie die Erklärung durch chemische Anziehung mindestens anehmbarer erscheinen lässt als die durch einfache Absorption, während die Aufnahme einer gewissen Menge von Kohlensäure in die Säftemasse des Thieres bei gesteigertem Drucke dieses Gases in dem Athmungsraume am einfachsten aus dem Absorptionsgesetz sich ableitet.

---

[1]) Vergl. hierüber Prout: Über die Menge der CO_2 bei der Ausathmung zu verschiedenen Zeiten und unter verschiedenen Umständen. Schweigger's Journal XV. p. 47.

Für das entgegengesetzte Verhalten beider Gase im lebenden Blute liessen sich fernere Beweise beibringen durch eine andere Versuchsreihe, deren Principien sich aus folgender einfacher Ableitung ergeben. Durch die Versuche von Regnault und Reiset [1]), so wie von Allen und Pepys steht fest, dass der Respirationsprocess in einer stickstofffreien oder sehr stickstoffarmen Luft sich von dem in gewöhnlicher Luft nicht wesentlich unterscheidet, indem der grössere Partiardruck des Sauerstoffes höchstens eine sehr vorübergehend vermehrte Aufnahme dieses Gases zur Folge hat. Andererseits wissen wir aus den Versuchen von Regnault und Reiset, so wie von Legallois, dass ein Thier bei hinreichender Sauerstoffzufuhr in einer sehr kohlensäurereichen Atmosphäre längere Zeit leben kann, dass sogar bei einem sehr hohen Partiardruck der Kohlensäure in der Athmungsluft ein Übertritt dieses Gases in das Blut stattfindet, wie dies das Absorptionsgesetz verlangt und wie es in der That von Legallois bereits beobachtet worden ist. Über die absoluten Mengen von Kohlensäure, welche ein Thier auf diese Weise aufnehmen kann, liegen keine Untersuchungen vor. Aus den angeführten Beobachtungen im Zusammenhalte mit dem von Lothar Meyer aufgestellten Satze ergibt sich, als natürliche Folgerung, dass, wenn man ein Thier nach vorheriger Entfernung des in der Lunge vorhandenen und des im Blute absorbirten Stickstoffes, so weit letztere möglich ist, mit einem geschlossenen Luftraume in Verbindung bringt, welcher reinen oder nahezu reinen Sauerstoff enthält, das Volum der enthaltenen Luft sich beträchtlich verringern oder sogar gänzlich verschwinden muss, indem der Sauerstoff trotz seines stetig abnehmenden Partiardruckes, weil hievon unabhängig, in das Blut aufgenommen wird, während die Kohlensäure in Folge ihrer durch die fortlaufende Production stetig gesteigerten Spannung auf dem Wege der einfachen Absorption in dasselbe übertritt.

Zum Verschwinden muss das Luftvolum kommen, wenn die absolute Kohlensäuremenge zu gering ist, um auf das Leben des Thieres einzuwirken; im anderen Falle liess sich blos eine Verminderung des Luftvolums bis zu diesem Punkte erwarten. Diese Versuchsweise gestattete aber zugleich einige andere Punkte genauer festzustellen, nämlich einmal die absolute Menge von Kohlensäure,

---

[1]) A. a. O. p. 126.

welche ein Thier bei hinreichender Sauerstoffzufuhr aufzunehmen im Stande ist, und ferner die Wirkungen, welche eine grosse Menge gasförmiger Kohlensäure auf den thierischen Organismus ausübt.

Zu diesem Zwecke waren an der beschriebenen Vorrichtung einige entsprechende Änderungen nothwendig. Die Entfernung des Stickstoffes aus dem Lungenraume (und Blut) konnte nur dadurch annähernd erreicht werden, dass man das Thier längere Zeit reines Sauerstoffgas einathmen liess, während die Exspirationsluft dauernd entfernt wurde. Dies liess sich wieder am einfachsten durch die bereits beschriebene Ventilvorrichtung erreichen. Nur musste das Ventil, welches für die Exspirationsluft bestimmt war, noch eine dritte Röhre enthalten, welche der Luft, so lange die Lunge mit Sauerstoffgas durchgewaschen wurde, den ungehinderten Austritt in das Freie gestattete. Diese Röhre war vollkommen wie die andere mit dem Luftbehälter in Verbindung stehende geformt, aber seitwärts abgebogen und durch ein luftdicht schliessendes Kautschukrohr mit einem kleinen Ableitungsrohr in Verbindung, welches unter Wasser tauchte, um dem Thiere die Überwindung eines weiteren hier ganz unnöthigen Quecksilberdruckes zu ersparen. Die Ventile standen übrigens in derselben Verbindung mit dem Luftbehälter wie früher. Als solcher diente auch hier eine grössere oder kleinere Flasche, welche vor dem Versuche mit Sauerstoff gefüllt und senkrecht mit dem Halse in Quecksilber gestellt wurde, um das Luftvolum zu Anfang und Ende des Versuches ablesen zu können. Natürlich muss hier das die Exspirationsluft zurückleitende Rohr bedeutend kürzer gemacht werden als bei den früheren Versuchen, oder bei kleinen Gefässen ganz nahe dem Boden in gleicher Höhe mit dem Inspirationsrohr ausmünden, da die Verminderung des Luftvolums eine sehr bedeutende ist. In die unter Quecksilber befindliche Öffnung des Halses der Flasche tauchte ein Zuleitungsrohr, welches mit seiner Öffnung über den Quecksilberspiegel des Gefässes hervorragte. Dieses Zuleitungsrohr stand mit einem Döbereiner'schen Gasometer in Verbindung, welcher vor dem Versuche mit Sauerstoff (aus chlorsaurem Kali bereitet) gefüllt wurde. Durch eine passende Schraubenvorrichtung gelang es, dem Druck des Gases im Gasometer nach Belieben zu reguliren und constant zu halten. Letzteres war natürlich mit Quecksilber abgeschlossen.

Wenn das Thier an den Apparat gebracht wurde, war das Kautschukrohr, welches das Exspirationsventil mit dem Sauerstoffbehälter in Verbindung setzte, durch eine Klemme abgeschlossen, so dass die Luft nur aus dem Gasometer in den Sauerstoffbehälter, von da in die Lunge des Thieres gelangen konnte, während sie aus dem Exspirationsventil vermittelst des oben erwähnten Ableitungsrohres ins Freie geleitet wurde. Nachdem das Thier eine beträchtliche Menge von Sauerstoff auf diese Weise geathmet hatte, wurde das Kautschukrohr, welches mit der Ableitungsröhre des Exspirationsventils in Verbindung stand, rasch durch eine Klemme geschlossen und gleichzeitig dasjenige, welches den sauerstoffhaltigen Athmungsraum mit diesem Ventil in Verbindung setzte, geöffnet. Das einfache Untertauchen der Spitze des aus dem Gasometer kommenden Rohres unter den Quecksilberspiegel genügte nun, um das Thier in einem abgeschlossenen Raume mit Sauerstoff von bekanntem Volum athmen zu lassen. Die Athembewegungen gehen auch hier ganz ruhig von Statten; die Verringerung des Luftvolums muss natürlich durch das Nachgiessen einer entsprechenden Quecksilbermenge in das umgebende Gefäss compensirt werden; es tritt bald ein Zeitpunkt ein, wo das Gefäss auf dem Quecksilber gleichsam schwimmt und durch Hebungen und Senkungen den Raumveränderungen des Inhaltes folgt, ohne dass das Thier irgend welche Anstrengung beim Athmen zu machen nöthig hat. Nach Beendigung des Versuches wird auch hier der Luftbehälter wieder senkrecht gestellt, so dass das Quecksilber innen und aussen in gleichem Niveau steht, natürlich nachdem vorher die Verbindungen zwischen ihm und den Ventilen geschlossen sind, und dann das enthaltene Gas unter Beobachtung der bereits erörterten Cautelen weiter behandelt.

Die Erscheinungen, welche diese Versuchsweise zur Beobachtung bringt, sind verschieden mit der Grösse des angewandten Athmungsraumes.

Wählt man als Sauerstoffbehälter ein Glas oder eine Flasche, welche nicht mehr als 300 CC., am besten zwischen 150 und 250 CC. fasst, so treten am Thiere selbst keine besonders auffallenden Erscheinungen ein. Höchstens erscheinen im Beginne der Sauerstoffathmung die sichtbaren Schleimhäute etwas lebhafter geröthet und der Respirationsact selbst als ein etwas lebhafterer. Doch dauert dies nur kurze Zeit; alsdann lässt sich kein wesentlicher Unterschied

zwischen einem solchen Thiere und einem in gewöhnlicher Luft athmenden mehr beobachten, die Respiration geht ihren ruhigen Gang fort. Dagegen werden, sobald man das Thier im abgeschlossenen Sauerstoffraume athmen lässt, die oben gemachten Voraussetzungen über das Verhalten von Sauerstoff und Kohlensäure bei mässigem Luftvolum vollkommen bestätigt. Das Volum der Athmungsluft vermindert sich Anfangs kaum merklich; es kommt jedoch bald ein Zeitpunkt, wo die Verminderung sich deutlich bemerkbar macht und von da an stetig fortschreitet, bis endlich das ganze ursprünglich angewandte Luftvolum von dem Thiere verzehrt ist.

Dieses überraschende Resultat wurde in vielfach wiederholten Versuchen stets in gleicher Weise gewonnen; es gibt keinen Versuch, welcher die Hauptmomente des Gaswechsels bei der Respiration so augenscheinlich an den Tag legte wie dieser.

Es erklärt sich am einfachsten und natürlichsten durch die Annahme, dass, „während der Sauerstoff trotz seines stetig abnehmenden Partiardruckes bis zum letzten Rest durch chemische Affinität von dem Blute angezogen wird, die Kohlensäure in Folge ihres durch die fortlaufende Neubildung stetig gesteigerten Partiardruckes im Athmungsraume den im Blute vorhandenen übertrifft und auf dem Wege der einfachen Absorption in das letztere übertritt.

Wesentlich anders gestalten sich die Erscheinungen am Thiere, wenn das als Sauerstoffbehälter dienende Gefäss einen Raum fasst, welcher gross genug ist, um die volle Wirkung der Kohlensäure auf den thierischen Organismus zur Wahrnehmung zu bringen. Schon bei einem Volum der angewandten Luft von etwa 500 CC. scheint das Thier in einen leicht narkotischen Zustand zu gerathen. Wendet man hingegen einen Behälter an, der gegen 1500 CC. fasst, wie er zum vollen Sichtbarwerden der Wirkungen der Kohlensäure auf ein erwachsenes Kaninchen nothwendig ist, so beginnt das Thier, nachdem es einige Zeit im abgeschlossenen Raume geathmet hat, unruhig zu werden, und schon ziemlich leichte Reize rufen lebhafte Reflexbewegungen hervor. Dies ist jedoch nur vorübergehend; nach und nach wird das Thier ruhiger, die Respirationsbewegungen gehen ruhig und ungehindert wie beim gewöhnlichen Athmen von Statten, die Reflexbewegungen werden immer spärlicher

und weniger intensiv, bis sie endlich ausser an den Augen an keinem Theile des Körpers selbst durch starke Einwirkungen mehr hervorgebracht werden können. Bis dieser Zeitpunkt eintritt, scheint das Thier etwa den dritten Theil seines Volums an gasförmiger Kohlensäure aufgenommen haben.

Setzt man die Athmung in dem Raume noch ferner fort, so beginnt die Kohlensäure geradezu giftige Eigenschaften zu entfalten. Die Extremitäten werden dann allmählich kühl, die Abkühlung schreitet langsam über den Körper weiter; die Respiration wird nach und nach langsamer, während der Herzschlag sich mehr und mehr beschleunigt und die einzelnen Schläge weniger fühlbar werden; endlich bietet das Thier das vollendete Bild einer ruhigen Agonie dar, wie man sie an Menschen, die „eines ruhigen Todes“ sterben, so vielfach zu beobachten Gelegenheit hat. Der Tod findet hier statt bei einem Procentgehalt der Athmungsluft an Sauerstoff, welcher dem der atmospärischen Luft gleichkommt oder ihn noch beträchtlich übertrifft. Es ist mithin nicht der Mangel an Sauerstoff; es ist der directe Einfluss der Kohlensäure, welcher diese Erscheinungen hervorbringt. Sie lassen sich mit nichts besser vergleichen als mit den ganz analogen der Chloroformnarkose. Wie dort, so findet sich hier ein Stadium der Aufregung, welches von einem Stadium tiefer Depression gefolgt wird; in beiden Fällen erfolgt der Tod, wenn er durch ein Übermass der Narkose herbeigeführt wird, vollkommen ruhig und ohne auffallende Erscheinungen. Es genüge hier auf diese Analogie hingewiesen zu haben.

Da die Versuche mit kleineren Gefässen immer dasselbe Resultat ergaben, so ist es unnöthig, sie einzeln aufzuzählen; die mit einem grösseren Luftraume angestellten, waren folgende:

Versuch 1. 25. Februar 1858.

Das Kaninchen vom Versuche 1 der vorigen Reihe wurde, nachdem es in atmosphärischer Luft nahezu erstickt war, rasch an einen Sauerstoffbehälter von etwa 300 CC. gebracht, wo es sich schnell erholte. Es brachte etwa $^2/_5$ des enthaltenen Gases zum Verschwinden, worauf der Versuch abgebrochen werden musste, weil das Exspirationsrohr in Quecksilber tauchte. Die Analyse der Endluft gab folgende Zahlen;

	Volum	Druck	°C.	Vol. b. 0°C. u. 1M.
Absorptionsrohr III.				
Anfangsvolum	81·4	670·19	11·6	52·33
Mit ClCa getrocknet . . .	81·9	680·70	14·5	52·94
Nach Absorption der CO_2 .	66·9	652·80	8·4	42·37
Absorptionsrohr VII.				
Anfangsvolum	143·41	642·14	11·6	88·33
Mit ClCa getrocknet . . .	143·8	651·03	15·6	88·56
Nach Absorption der CO_2 .	118·41	615·05	8·4	70·64
Eudiometer II.				
Anfangsvolum	117·42	386·41	9·9	43·78
Mit Wasserstoff	304·33	563·29	8·6	166·20
Nach der Explosion	210·36	472·76	10·9	95·638

Die Luft enthält:

	I	II	Mittel
CO_2	19·96	20·23	20·09%
O	—	42·85	42·85 „
N	—	36·92	37·06 „

Versuch 2. 14. Juni 1858.

Erwachsenes Kaninchen in Verbindung mit einem Sauerstoffraume von 520 CC. Die Lunge wird 15 Minuten lang mit Sauerstoff durchgewaschen, hierauf abgeschlossen 10ʰ 45.′ Um 11ʰ zeigen sich 150 CC. verschwunden. Die Analyse ergibt für die Zusammensetzung des Rückstandes folgende Zahlen.

	Volum	Druck	°C.	Vol. b. 0°C. u. 1M.
Absorptionsrohr II.				
Anfangsvolum	166·91	689·53	21·8	106·59
Mit ClCa getrocknet . . .	163·23	705·83	20·3	106·88
Nach Absorption der CO_2 .	95·506	638·74	22·9	56·294
Eudiometer II.				
Anfangsvolum	131·85	497·34	22·9	60·503
Mit Wasserstoff	278·75	641·67	22·9	165·033
Nach der Explosion	77·73	445·68	23·0	31·954
Mit Luft	187·22	552·17	23·2	95·24
Nach der Explosion	151·47	516·62	24·3	72·10

Die Endluft enthält:

CO_2	47·33%
O	38·61 „
N	14·06 „

und in absoluter Menge:

CO_2	37·86 CC.
O	30·89 „
N	11·25 „

Eine Analyse der Anfangsluft verunglückte; sie war genau wie in den folgenden Versuchen dargestellt, daher wir die Zusammensetzung von diesen ohne Gefahr übertragen können, nämlich mit 98·5 % O und 1·5 % N; dies gibt für 520 CC.

O 512·2 CC.
N 7·8 „
620·0 CC.

Das Thier verzehrte in 48 Minuten 481·31 CC. Sauerstoff, was für eine Minute 10·00 CC. ergibt. In der Endluft waren blos enthalten 37·86 CC. Kohlensäure; mithin blieben in dem Thiere 443·45 CC. von verzehrten Sauerstoff. Zugleich findet sich in der Endluft ein Plus von 3·45 CC. Stickstoff.

Versuch 3. 20. Juli 1858.

Das schwächliche Thier vom Versuche 17 der vorigen Reihe wurde an einen Sauerstoffraum von 1460 CC. gebracht. Es athmete im geschlossenen Raume von 3^h 17′ — 3^h 46′ 30″, wo es starb. Das Luftvolum hatte während dieser Zeit um etwa 500 CC. abgenommen. Die Analyse der Endluft gab folgendes Resultat:

	Volum	Druck	°C.	Vol. b. 0°C. u. 1M.
Absorptionsrohr II.				
Anfangsvolum	193·25	712·90	24·5	126·43
Mit ClCa getrocknet . . .	189·3	732·07	24·15	127·32
Nach Absorption der CO_2 .	150·80	695·24	24·0	92·261
Eudiometer III.				
Anfangsvolum	185·69	581·56	23·95	99·279
Mit Wasserstoff	336·91	723·56	24·0	224·09
Nach der Explosion	75·52	480·13	24·0	33·33
Mit Wasserstoff	231·84	622·74	24·2	132·63
Nach der Explosion	165·35	558·86	24·8	84·72

Die Luft enthält[1]):

CO_2 27·53 %
O 58·538
N 13·902

[1]) Die Analyse ist nur annähernd richtig; aus Versehen wurde dem Gas zu wenig Wasserstoff im Eudiometer zugesetzt, so dass reichliche Salpetersäure-Bildung eintrat; die O-Bestimmung ist mithin wahrscheinlich zu niedrig. Es wurden desshalb hier keine Berechnungen der absoluten Mengen angestellt.

Versuch 4. 30. Juli 1858.

Kräftiges, männliches Kaninchen im Sauerstoffraum von 1500 CC. Beginn 10h 15′. Die Lunge wird mit 5000 CC. Sauerstoff durchgewaschen. 10h 30′ wird abgeschlossen. Um 11h 15′ ist die Narkose bereits ausgebildet; das Thier reagirt auf Reflexe nicht. Um 12h 10′ deutliche Agonie. Der Tod erfolgt um 12h 33′. Das Volum der Endluft beträgt 570 CC. Das Gewicht des Kaninchens ohne Haare = 1676 Grm., sein specifisches Gewicht = 102·7; mithin das Volum 1631 CC. (natürlich nicht absolut genau).

Anfangsluft.

	Volum	Druck	°C.	Vol. b. 0°C. u. 1M.
Eudiometer II.				
Anfangsvolum	116·65	476·02	19·5	51·833
Mit Wasserstoff	380·54	733·52	19·7	260·363
Nach der Explosion	204·48	562·27	20·1	107·095

Dies ergibt:

O 98·565%
N 1·435 „

und in absoluter Menge:

O 1478·48 CC.
N 21·52 „
1500·00 CC.

Endluft.

	Volum	Druck	°C.	Vol. b. 0°C. u. 1M.
Absorptionsrohr III.				
Anfangsvolum getrocknet .	194·85	765·22	18·2	136·944
Nach Absorption der CO_2 .	92·338	666·99	20·2	57·347
Eudiometer II.				
Anfangsvolum	102·78	482·71	19·3	46·339
Mit Wasserstoff	259·62	636·77	19·3	154·414
Nach der Explosion	78·77	460·18	19·3	33·857
Absorptionsrohr II.				
Anfangsvolum	195·78	685·15	18·2	132·63
Mit ClCa getrocknet . . .	193·9	737·34	20·2	133·12
Nach Absorption der CO_2 .	92·364	641·05	18·8	55·39
Eudiometer II.				
Anfangsvolum	110·06	487·29	18·55	50·231
Mit Wasserstoff	297·54	669·15	18·5	186·47
Nach der Explosion	119·12	495·72	18·5	55·305

Die Endluft enthält:

	I	II	Mittel
CO_2	58·12	58·39	58·255%
O	36·31	36·21	36·26 „
N	5·57	5·40	5·485 „

und in absoluter Menge:

CO_2	332·05 CC.
O	206·68 „
N	31·26 „

Der Versuch dauerte 123 Minuten. Während dieser Zeit verzehrte das Thier 1271·8 CC. Sauerstoff, was für die Minute 10·3 CC. ergibt. Dafür erschienen in der Endluft blos 332·05 CC. Kohlensäure, während im Thier 939·75 CC. blieben = 0·567 vom Volum des Thieres. Zugleich findet sich in der Endluft ein Plus von 9·74 CC. Stickstoff.

Versuch 5. 3. August 1858.

Erwachsenes, kräftiges Kaninchen am Sauerstoffraume von 1500 CC. Beginn des Versuches 2^h 11′.

Die Lunge wird mit 9000 CC. Sauerstoff durchgewaschen. Der Raum wird abgeschlossen 2^h 21′. Das Studium der Unruhe ist 2^h 50′ ausgebildet. 3^h 12′ sind bereits 500 CC. der Luft verschwunden. 3^h 21′ 550 CC. absorbirt. Die Narkose beginnt sich einzustellen. Reflexe finden noch an Pfoten und Augen Statt. 3^h 36′ 600 CC. absorbirt. Reflexe sind nur noch an den Augen vorhanden. Extremitäten werden kühl und desshalb mit Wolle bedeckt. 3^h 59′ die Respiration wird langsam; es erfolgen in 1 Minute 9 Athemzüge und 100 Herzschläge. Der Tod erfolgt 4^h 12′. Volum der Endluft 550 CC.

Anfangsluft vor und nach dem Versuch.

	Volum	Druck	°C.	Vol. b. 0°C. u. 1M.
Eudiometer II.				
Anfangsvolum	123·48	395·75	19·6	45·599
Mit Wasserstoff	341·85	607·06	19·6	193·63
Nach der Explosion	150·24	421·42	19·7	59·048
Eudiometer III.				
Anfangsvolum	139·08	411·45	19·9	53·328
Mit Wasserstoff	364·55	633·77	19·7	215·498
Nach der Explosion	148·17	419·92	21·3	57·735

Die Luft enthält:

	I	II	Mittel
O	98·38	98·613	98·495
N	1·62	1·39	1·505

und in absoluter Menge:

O	1477·4 CC
N	22·6 „
	1500·0 CC.

Die Analyse der Endluft ergab folgende Zahlen:

	Volum	Druck	°C.	Vol. b. 0°C. u. 1M.
Absorptionsrohr II.				
Anfangsvolum	218·4	740·86	19·6	150·97
Mit ClCa getrocknet . . .	214·9	757·97	19·9	151·834
Nach Absorption der CO_2 .	82·124	620·36	21·7	47·197
Eudiometer III.				
Anfangsvolum	90·275	530·59	21·1	44·449
Mit Wasserstoff	200·02	641·26	21·0	119·113
Nach der Explosion	64·35	507·11	20·5	30·357
Absorptionsrohr VII.				
Anfangsvolum	181·83	736·92	19·6	125·02
Mit ClCa getrocknet . . .	178·92	751·50	19·9	124·568
Nach Absorption der CO_2 .	66·3	636·21	21·7	39·076
Eudiometer II.				
Anfangsvolum	83·131	450·18	21·5	34·729
Mit Wasserstoff	231·65	196·13	21·0	128·322
Nach der Explosion	128·019	494·57	21·0	39·076
Absorptionsrohr III.				
Anfangsvolum	170·4	728·44	19·6	115·81
Mit ClCa getrocknet . . .	168·4	742·74	19·9	115·874
Nach Absorption der CO_2 .	62·958	631·02	21·7	36·804
Eudiometer III.				
Anfangsvolum	55·425	498·64	20·3	25·725
Mit Wasserstoff	164·185	604·49	20·2	92·566
Nach der Explosion	78·700	521·29	20·1	41·637

Dies gibt die Zusammensetzung:

	I	II	III	Mittel
CO_2	68·91	68·63	68·23	68·59%
O	20·69	20·96	20·96	20·87 „
N	10·50	10·41	10·81	10·54 „

und in absoluter Menge:

CO_2	397·82 CC.
O	121·05 „
N	61·13 „
	580·00 CC.

Der Versuch dauerte 111 Minuten; während dieser Zeit verzehrte das Thier 1356·35 CC. Sauerstoff, was für 1 Minute 12·3 CC. ergibt. Dafür erschienen in der Endluft blos 397·82 CC. Kohlensäure; von dem verzehrten Sauerstoff blieben mithin im Thier 958·53 CC.; das Volum dieses Thieres gleich dem vorigen angenommen, was bei der anscheinend gleichen Grösse beider ohne sehr beträchtlichen Fehler geschehen kann, ergibt dies 0·584 vom Volum des Thieres. Die Endluft zeigt ferner ein Plus von 38·53 CC. Stickstoff.

Zur leichteren Übersicht stelle ich auch die Zusammensetzung der Endluft in dieser Versuchsreihe in folgender Tabelle zusammen.

Nummer des Versuches	O-Raum CC.	CO_2 %	O %	N %
1	300	20·09	42·85	37·06
2	520	47·33	38·61	14·06
3	1460	27·53	58·53 (annähernd)	13·90
4	1500	58·255	36·26	5·485
5	1500	68·59	20·8	10·54

Die nähere Betrachtung zeigt auch für diese Versuchsreihe die Unabhängigkeit der aufgenommenen Sauerstoffmenge vom Partiardruck dieses Gases in der Luft. Die Berechnung der in 1 Minute in der ersten Versuchsreihe aufgenommenen Sauerstoffmenge ergab 11·8, 12·7, 13·03, 13·27 CC., mithin Grössen, welche höchstens innerhalb der gewöhnlichen individuellen Grenzen schwanken. Dabei athmeten die Thiere sehr bald in einer sauerstoffarmen Luft. Merkwürdiger Weise ergaben die Thiere bei der zweiten Versuchsreihe fast genau dieselben Zahlen, nämlich 10·0, 10·3, 12·3 CC. für 1 Minute, Zahlen, welche mit den obigen so gut als nur immer möglich übereinstimmen, während die Thiere bis zum letzten Augenblicke in einer die atmosphärische an Sauerstoffreichthum übertreffende Luft athmeten. Es stimmt dies vollkommen mit den analogen Beobachtungen von Regnault und Reiset, welche sie an Thieren machten, die in einer sauerstoffreichen Luft athmeten. Die abweichenden Resultate, welche Allen und Pepys erhielten, rühren also wohl von analytischen Fehlern her, was um so wahrscheinlicher wird, wenn man die enorm hohen Kohlensäurezahlen sieht, welche diese Beobachter erhielten, Zahlen, wie sie von keinem andern Beobachter

auch nur annähernd erreicht wurden. Überdies erstrecken sich die Versuche von Allen und Pepys nur auf die kurze Zeit von 8 bis 10 Minuten, und sie geben selbst an, dass der Athmende im zweiten Versuche vorher 5 Stunden lang starke Anstrengung gehabt hatte, was an sich schon nach Vierordt's und Scharling's Beobachtungen die Menge der gebildeten Kohlensäure steigert.

Für die Kohlensäure andererseits lässt sich aus den Versuchen der letzten Reihe ihre Abhängigkeit vom Absorptionsgesetz in Beziehung auf das Blut direct ableiten; das Verschwinden einer steigenden Menge derselben mit ihrem steigenden Partiardruck im Athmungsraume lässt sich auf eine andere Weise nicht wohl erklären.

Ausser dieser Thatsache erlaubten die Versuche noch einige andere nicht uninteressante Beobachtungen zu machen. Sie zeigen zunächst, dass selbst bei eingetretener Narkose durch Kohlensäure die Sauerstoffaufnahme im Körper fortwährend vor sich geht, so dass eine Widerlegung des gegentheiligen prophetischen Ausspruches von Bernard [1]) überflüssig erscheint.

Sie zeigen aber ferner, dass die Kohlensäure im Thierkörper in gehöriger Dosis die Wirkungen eines narkotischen Giftes entfaltet, welches bei einer Sättigung des Thieres acuten Tod zu erzeugen im Stande ist. Damit erstere Wirkungen deutlich zum Vorschein kommen, scheint es nöthig, dass ein Thier etwa den dritten Theil seines Volums an gasförmiger Kohlensäure aufnimmt, während die absolute Menge, welche es aufnehmen kann, bis es zu Grunde geht, in zwei Fällen etwas über die Hälfte von seinem Volum, 0·567 und 0·584 beträgt.

Die Beobachtungen gestatten endlich den Schluss, dass nicht die Anhäufung der Kohlensäure in den Geweben und dem Blut es ist, was die Verlangsamung der Athembewegungen nach Durchschneidung des Vagus und die krampfhaften Zufälle beim Erstickungstod hervorruft; denn auch ein sehr beträchtlicher Kohlensäuregehalt des Blutes erzeugt keine Reizung des verlängerten Markes und der Kohlensäuregehalt der Lungenluft keine Reflexe. Vielmehr ist es bei den letzteren Zufällen geradezu der Mangel am nothwendigen Sauerstoff, welchem sie ihre Entstehung verdanken, und eben diesem Mangel müssen wir die ersten und alle folgenden Athemzüge zuschreiben, welche der

---

[1]) A. a. O. 8. lecon. pag. 133 ff.

thierische Organismus vollführt. Dasselbe Gefühl, welches uns als Hunger und Durst nöthigt, die verloren gegangenen Atome des Organismus durch neue zu ersetzen, dasselbe Gefühl veranlasst uns zur fortlaufenden Zufuhr des für den Lebensprocess unentbehrlichen Sauerstoffes, welches allenthalben als wichtigster Factor in den Vorgängen des Stoffwechsels und der Organfunction auftritt.

Die Versuche der ersten Reihe zeigten, dass es gelingt, durch das Athmen einem gegebenen Luftvolum seinen Sauerstoff bis auf sehr geringe Quantitäten zu entziehen, ehe der Tod eintritt. Sie liessen aber die Frage eigentlich unbeantwortet, bei welchem Procentgehalt an Sauerstoff die Luft untauglich wird, das Leben zu erhalten. Ich versuchte, auch diese Frage noch durch eine Reihe von Versuchen zu erledigen. Leider gestatteten es mir Zeit und Umstände nicht. auch diese Versuchsreihe in ihrem vollen Umfange durchzuführen, so dass die gewonnenen Resultate mehr als Anhaltspunkte für zukünftige Untersuchungen gelten müssen.

Die zu diesen Versuchen nöthige Luft wurde in einem grossen Ballon nach der bekannten Methode mit Phosphor ihres Sauerstoffes beraubt, und dann durch eine Waschflasche mit concentrirter Kalilösung und mehrere U-förmige Röhren mit feuchtem Kalihydrat in einen Döbereiner'schen Quecksilbergasometer geleitet, dessen Glocke graduirt war.

Das zugeleitete Gas konnte als reiner Stickstoff höchstens mit sehr geringen Mengen von Sauerstoff betrachtet werden. Im Gasometer konnte es nun mit einer beliebigen Menge atmosphärischer Luft gemischt werden. Nach der Zuleitung der letzteren wurde der Gasometer geschüttelt, um die Mengung der Gase zu befördern und jedesmal mindestens zwei Stunden gewartet, um der vollkommenen Mischung sicher zu sein. Unmittelbar vor dem Versuche wurde eine Probe des Gases zur Analyse in den Eudiometer gefüllt.

Der Gasometer wurde durch einen Kautschukschlauch mit einem der früher beschriebenen Ventile in Verbindung gesetzt, durch welches das Thier einathmete, während durch ein zweites Ventil die Exspirationsluft ungehindert in das Freie entweichen konnte. Die Ventile standen auch hier mit der Trachea in unmittelbarer Verbin-

dung; ebenso wurde die Dichtigkeit der Luft auch hier durch eine entsprechende Schraubenvorrichtung am Gasometer constant erhalten. Der Inhalt des letzteren erlaubte es nicht, die einzelnen Versuche über eine Viertelstunde auszudehnen.

Die Analysen der Luft wurden ohne Benützung des Wasserbehälters für constante Temperatur ausgeführt. Das benützte Zimmer war zu dieser Zeit fortwährend leer und die Schwankungen in der Temperatur desselben nur unbedeutend; vor jeder Ablesung wurde etwa 1 Stunde gewartet, um die Temperaturdifferenzen ausgleichen zu lassen. Die analytischen Fehler können daher in den folgenden Fällen nicht über ein bis höchstens zwei Zehntel eines Procents betragen, wenn solche überhaupt bedingt waren; diese Grössen kommen bei der vorliegenden Untersuchung aber nicht in Betracht, da die Individualität der Thiere viel grössere Differenzen in den Beobachtungen mit sich bringt.

Die nur in beschränkter Zahl angestellten Versuche waren folgende:

Versuch 1. 7. September 1858.

Das Thier athmet 13 Minuten lang aus dem Gasometer ein. Die Athemzüge erscheinen nach einiger Zeit etwas tiefer und ausgiebiger als gewöhnlich, ohne dass sich sonst irgend bemerkenswerthe Zufälle einstellen. Die Analyse der Luft ergibt folgende Zahlen:

Eudiometer II.	Volum	Druck	°C.	Vol. b. 0°C. u. 1M.
Anfangsvolum	212·029	492·317	20·5	97·09
Mit Wasserstoff	278·75	556·60	20·7	144·22
Mit Knallgas	310·00	572·42	20·7	164·95
Nach der Explosion	215·76	495·39	20·7	99·35

Die Zusammensetzung der Luft ist somit:

O 15·40 %
N 84·60 „

Versuch 2. 9. September 1858.

Das Thier wird an den Gasometer gebracht 11^h 1′. Nach 30 Secunden stellt sich bereits starke Unruhe ein, die in weiteren 30 Secunden bis zu heftigen Suffocationserscheinungen sich steigert. Dasselbe Resultat wird erhalten bei einer Wiederholung des Versuches nach einer halben Stunde.

Die Analyse der Luft ergibt:

Eudiometer II.	Volum	Druck	°C.	Vol. b. 0°C. u. 1M.
Anfangsvolum	182·69	468·208	19·4	79·86
Mit Wasserstoff	250·73	533·59	20·0	124·66
Mit Knallgas	320·4	562·40	20·0	167·90
Nach der Explosion	240·74	524·12	19·9	117·61

Die Zusammensetzung ist mithin:

O 2·94 %
N 97·06 „

Versuch 3.

Zu der im Gasometer enthaltenen Luft wird eine weitere Portion atmosphärischer Luft zugelassen. Nach erfolgter Mischung wird das Thier mit dem Gasometer in Verbindung gesetzt. Dasselbe athmet ununterbrochen 15 Minuten. Die Athemzüge erscheinen ausserordentlich tief und ausgiebig, wie bei einem in mässiger Athemnoth befindlichen Menschen, nach der Beendigung des Versuches athmet das Thier sehr rasch und energisch.

Weitere Erscheinungen traten nicht ein.

Die Analyse ergibt folgende Zahlen:

Eudiometer II.	Volum	Druck	°C.	Vol. b. 0°C. u. 1M.
Anfangsvolum	164·9	449·29	19·9	69·02
Mit Wasserstoff	255·25	508·17	20·1	106·62
Mit Knallgas	270·04	524·32	20·0	131·93
Nach der Explosion	201·28	485·35	20·0	91·02

Dies gibt die Zusammensetzung:

O 7·53 %
N 92·47 „

Versuch 4. 10. September 1858.

Ein erwachsenes Kaninchen wird mit dem Gasometer in Verbindung gesetzt und athmet 12 Minuten lang ohne bemerkliche Beschwerden.

Die Analyse gibt folgende Zahlen:

Eudiometer II.	Volum	Druck	°C.	Vol. b. 0°C. u. 1M.
Anfangsvolum	249·83	521·25	21·9	120·56
Mit Wasserstoff	406·33	673·07	22·0	253·11
Mit Knallgas	435·92	682·12	22·0	275·19
Nach der Explosion	349·06	617·17	22·0	199·37

Dies ergibt die Zusammensetzung:

O 14·85 %
N 85·15 „

Versuch 5. 11. September 1858.

Der Versuch beginnt 11^h 15′. Nach Verlauf einer Minute ist die heftigste Suffocation ausgebildet. Eine Wiederholung des Versuchs nach einer halben Stunde gibt das gleiche Resultat.

Die Analyse ergibt folgendes:

Eudiometer II.	Volum	Druck	°C.	Vol. b. 0°C. u. 1 M.
Anfangsvolum	202·81	488·43	19·6	92·42
Mit Wasserstoff	264·29	547·71	19·8	134·97
Mit Knallgas	330·34	566·00	20·0	174·22
Nach der Explosion	258·19	541·30	20·2	130·14

Die Zusammensetzung ist:

O 1·74 %
N 68·26 „

Versuch 6.

Zu der Luft des vorigen Versuches wird atmosphärische Luft zugefügt. Nach erfolgter Mischung wird das Thier mit dem Gasometer in Verbindung gesetzt. Es athmet 15 Minuten lang sehr heftig und ausgiebig, mit Anstrengung aller Muskeln; die geringste Verminderung in der Dichtigkeit der Athmungsluft reicht hin, ausgesprochene Suffocationszufälle zu erregen.

Die Analyse gibt folgende Zahlen:

Eudiometer II.	Volum	Druck	°C.	Vol. b. 0°C. u. 1 M.
Anfangsvolum	216·99	499·51	20·6	100·79
Mit Wasserstoff	288·94	569·81	20·6	153·10
Mit Knallgas	340·82	582·31	20·6	184·65
Nach der Explosion	271·72	552·53	20·5	139·65

Dies gibt die Zusammensetzung:

O 4·48 %
N 95·52 „

Ich stelle auch diese Versuchsreihe in eine Tabelle zusammen.

Dauer des Versuches	Nummer	O %	N %	Erscheinungen
1′	5	1·74	98·26	Rasche Suffocation
1′	2	2·94	97·06	„ „
15′	6	4·48	95·52	Beschwerl. Respiration
15′	3	7·53	92·47	Tiefe Athemzüge
15′	4	14·85	85·15	Keine besonderen Erscheinungen.
15′	1	15·40	84·60	

Diese Versuche zeigen, so weit die kurze Beobachtungsdauer uns Schlüsse gestattet, dass eine Minderung des Sauerstoffgehaltes der Luft, um $1/3$ von dem normalen Gehalt, ohne wesentlichen Einfluss auf die Vorgänge der Respiration ist. Sie zeigen ferner dass der Sauerstoffgehalt der Athmungsluft bis zum dritten Theil von dem der atmosphärischen Luft herabgedrückt werden kann, bis überhaupt ein merklicher Einfluss dieser Verminderung auf die Ausgiebigkeit des Luftwechsels in den Lungen zur Beobachtung kommt. Hier scheint jedoch auch die Grenze zu liegen, bei welcher das Leben noch durch längere Zeit erhalten bleiben kann. Ein weiteres Herabsinken des Sauerstoffgehaltes bis zu 4 oder 5% hat bereits Erscheinungen zu Folge, wie sie nur bei beträchtlichen Störungen der Sauerstoffaufnahme in das Blut zur Beobachtung kommen, während ein Herabsinken unter 3% die zur Erhaltung des Lebens nöthige Sauerstoffmenge dem Blute nicht mehr aufzunehmen gestattet und raschen Tod unter den ausgesprochenen Erscheinungen der Suffocation herbeiführt. Die Beobachtungen stehen mit den Erfahrungen über das Athmen auf hohen Bergen vollkommen in Einklang. Überall so weit der Mensch bis jetzt vorzudringen vermochte, befindet er sich in einer Atmosphäre, welche ihm den nöthigen Sauerstoff in hinreichender Menge liefert, und der Organismus selbst besitzt durch die Möglichkeit einer Vergrösserung der Berührungsfläche zwischen Gas und Blut und der rascheren Lüftung bis zu einem gewissen Grade noch die Fähigkeit, den Mangel an der zum Leben nothwendigen Sauerstoffmenge in der äusseren Luft zu ersetzen.

Die beschriebene Versuchsmethode würde noch zur Erörterung mancher interessanten Fragen sich anwenden lassen. So viel sich bis jetzt absehen lässt, sind erhebliche Fehler in derselben nicht begründet; bei den vielfachen Modificationen, deren sie fähig ist, und bei der leichten Handhabung, welche sie gestattet, dürfte ihre ausgedehntere Anwendung zu manchen sowohl für die Physiologie als namentlich auch für die experimentale Pathologie wichtigen Thatsachen führen.
